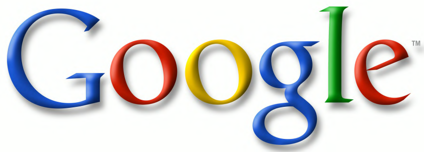
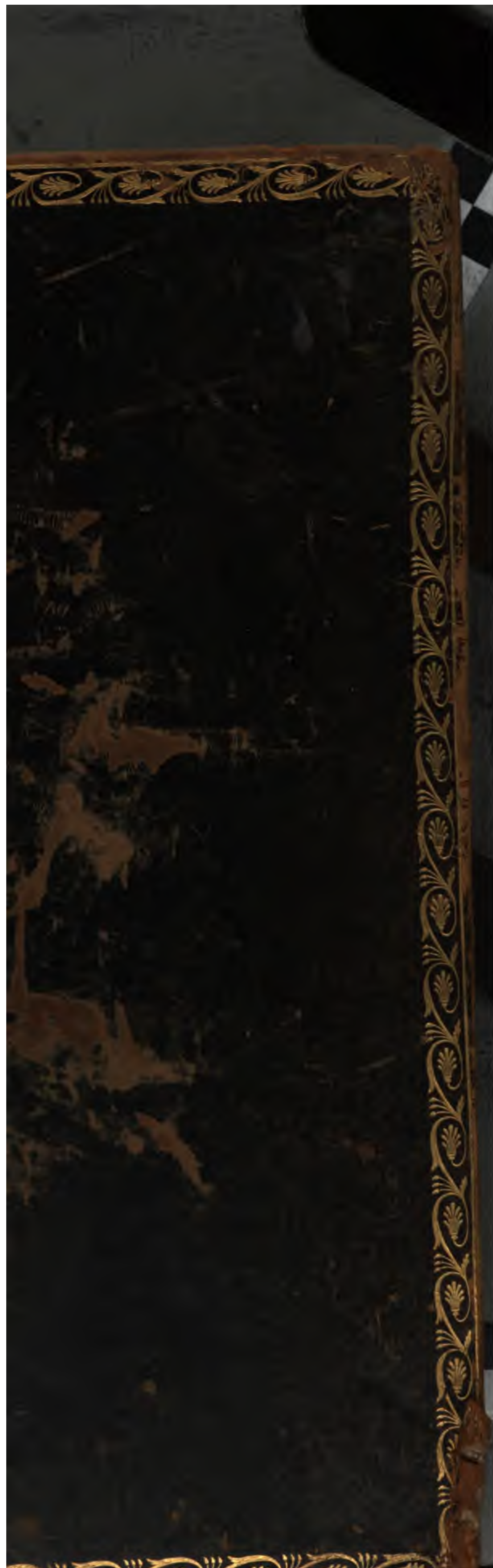
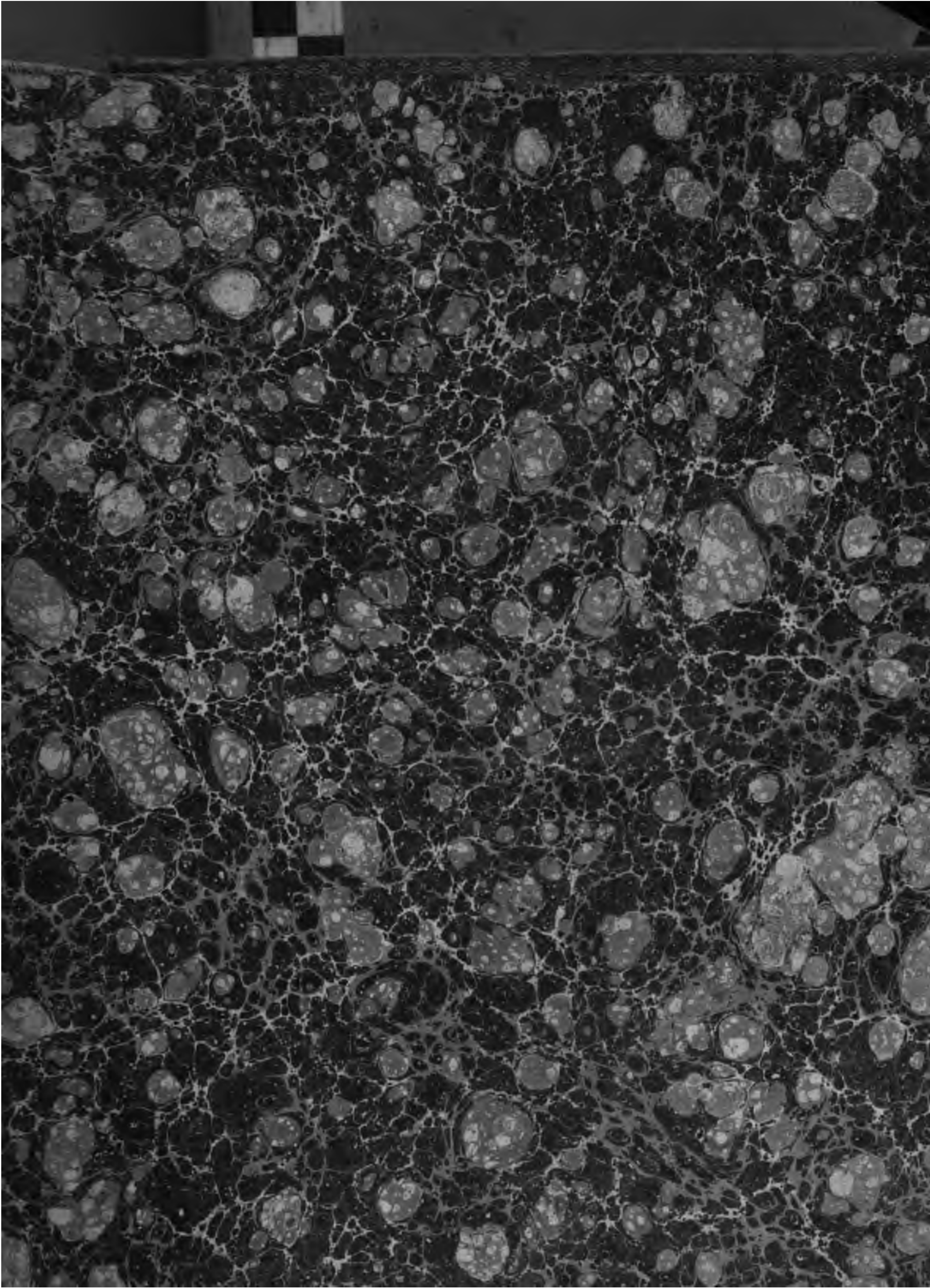






LA SIDÉROTECHNIE,

OU

L'ART DE TRAITER LES MINÉRAIS DE FER

POUR

EN OBTENIR DE LA FONTE, DU FER ET DE L'ACIER.

LA SIDÉROTECHNIE,

OU

L'ART DE TRAITER LES MINÉRAIS DE FER

POUR

EN OBTENIR DE LA FONTE, DU FER, OU DE L'ACIER;

OUVRAGE ORDONNÉ PAR S. EXC. LE MINISTRE DE L'INTÉRIEUR,

Approuvé et adopté par la première Classe de l'Institut Impérial de France, pour faire partie de la Collection des Arts et Métiers qu'elle doit publier;

DÉDIÉ

A SA MAJESTÉ IMPÉRIALE ET ROYALE.

PAR J. H. HASSENFRATZ,
INSPECTEUR DIVISIONNAIRE AU CORPS IMPÉRIAL DES MINES.

TOME II.

A PARIS,
CHEZ FIRMIN DIDOT, IMPRIMEUR DE L'INSTITUT, LIBRAIRE
POUR LES MATHÉMATIQUES, LA MARINE, L'ARCHITECTURE HYDRAULIQUE, etc.
RUE JACOB, N° 24.

1812.

Wr

TABLE DES MATIERES

CONTENUES

DANS LE DEUXIÈME VOLUME.

SUITE DU SECOND CHAPITRE DE LA TROISIEME PARTIE.

DES COMBUSTIBLES.

DE LA TOURBE.

DE LA HOUILLE.

DU CHARBON DE HOUILLE.

DE LA COMBUSTION, ET DES MACHINES DONT ON FAIT USAGE POUR LA DÉTERMINER.

DE L'ACTION DE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

DES MACHINES DANS LESQUELLES L'AIR EST INTRODUIT PAR LE SECOURS DE L'EAU.

DES MACHINES SOUFFLANTES DANS LESQUELLES L'AIR EST INTRODUIT PAR UNE DIMINUTION DE LA PRESSION EXTÉRIEURE.

DES MACHINES SOUFFLANTES A PAROIS FLEXIBLES.

DES MACHINES SOUFFLANTES A PAROIS INFLEXIBLES.

DES RÉGULATEURS.

DÉTERMINATION DE LA QUANTITÉ D'AIR PRODUITE PAR CHAQUE MACHINE SOUFFLANTE.

DE LA QUANTITÉ D'AIR LANCÉE PAR LES MACHINES SOUFFLANTES, DÉTERMINÉE PAR LE VOLUME D'AIR QU'ELLES ASPIRENT.

DE LA MESURE DE L'AIR PRODUIT PAR LES MACHINES, DÉTERMINÉE PAR LA VÎTESSE UNIFORME ET CONSTANTE AVEC LAQUELLE IL SORT.

DU MOUVEMENT DES MACHINES SOUFFLANTES, ET DES FORCES QUI LES FONT MOUVOIR.

DES FORCES MUSCULAIRES DES ANIMAUX, APPLIQUÉES AU MOUVEMENT DES MACHINES SOUFFLANTES.

DE L'USAGE DE L'EAU POUR FAIRE MOUVOIR LES MACHINES SOUFFLANTES.

DE L'USAGE DES MACHINES A VAPEUR POUR FAIRE MOUVOIR LES MACHINES SOUFFLANTES.

EXAMEN DES AVANTAGES ET DES INCONVÉNIENTS DE CHAQUE MACHINE SOUFFLANTE, AFIN DE DÉTERMINER CELLE A LAQUELLE ON DOIT DONNER LA PRÉFÉRENCE.

DES FONDANTS.

DE LA FUSIBILITÉ DES TERRES ET DES PIERRES QUI ACCOMPAGNENT LES MINÉRAIS, ET DE CELLES QU'ON LEUR AJOUTE.

DES EXPÉRIENCES ENTREPRISES POUR DÉTERMINER LA FUSIBILITÉ DES TERRES.

DE LA FUSION DES MINÉRAIS DE FER.

DE LA PRÉPARATION DES FOURNEAUX.

DE LA MISE EN FEU DES HAUTS FOURNEAUX.

DU TRAVAIL DU HAUT FOURNEAU PENDANT TOUTE LA DURÉE D'UN FONDAGE.

DE LA CONDUITE DU FOURNEAU JUSQU'A CE QU'IL AIT ATTEINT UNE MARCHE UNIFORME.

DE LA CONDUITE DU FOURNEAU ET DU TRAVAIL QU'IL EXIGE JUSQU'À SON EXTINCTION.

THÉORIE DE LA FUSION DANS LES HAUTS FOURNEAUX.

CARACTÈRES AUXQUELS ON DISTINGUE LEUR MARCHE. — CORRECTION QU'ON PEUT Y APPORTER, LORQU'ILS SE DÉRANGENT.

ACCIDENTS, REPOS, ET MISE HORS DES FOURNEAUX.

DES FONTES MOULÉES.

DES OBJETS QU'ON PEUT ET QU'ON DOIT OBTENIR A L'ÉTAT DE FONTE MOULÉE.

DES MOULES DANS LESQUELS ON COULE LA FONTE.

DU CHOIX DES FONTES ET DE LA PRÉPARATION QU'ELLES SUBISSENT.

DES RÉPARATIONS QUE DOIVENT ÉPROUVER LES FONTES MOULÉES.

FIN DE LA TABLE DU SECOND VOLUME.

ERRATA DU SECOND VOLUME.

Pages.	*Lignes.*			
11	*dernière*	d'antrachite	*Lisez*	d'antracite.
16	19	les incendier	——	l'incendier.
22	5	nécessiteraient	——	nécessiterait.
28	27	ammoniac	——	ammoniaque.
45	6	pris	——	prises.
49	22	lancé	——	lancée.
49	23	arrivent	——	arrive.
69	7	la baisse	——	l'abaisse.
74	6	Daupline	——	Dauphiné.
79	8 et 9	est pas moins nuisible	——	sont pas moins nuisibles.
84	26	D	——	Q.
88	27	$p - \pi$	——	$P - \pi$.
92	28	I	——	L.
99	27	Guai-Lussac	——	Gai-Lussac.
117	15	piston	——	pilons.
117	20	*agk*	——	*agh.*
148	17	d'asbest	——	d'asbeste.
148	18	carbonnatée	——	carbonaté.
151	2	le hornblende, l'asbest	——	la hornblende, l'asbeste.
174	16	qu'il	——	qui.
189	24	tympe	——	tuyère.
194	13	carbon	——	carbone.
196	22	contiennent	——	contienne.
199	2	brasques	——	brasque.
201	29 et 30	la fait	——	l'a fait.
205	6	consume	——	consument.
231	10	ils	——	et.
233	15	fondues	——	fondus.
240	18	le	——	les.
245	*avant-dernière*	varient	——	varie.
256	12	lestes	——	lests.
261	24 et 25	Celles-ci, en coulant, les environnent, se figent autour, et les retiennent;	*lisez*	celle-ci, en coulant, les environne, se fige autour, et les retient.
264	9	composent	——	compose.
278	23	conduits	——	conduite.
291	22	de	——	que.
292	5	superfaturée	——	supersaturée.
292	15	lesquels on les	——	lesquels on la.
319	18	les rendent propres	——	le rend propre.
319	20	n'avait	——	n'avaient.
321	26	à la surface	——	qu'à la surface.

L'ART

DE TRAITER LES MINÉRAIS DE FER

POUR EN OBTENIR DE LA FONTE, DU FER OU DE L'ACIER.

SUITE DE LA TROISIÈME PARTIE.

SUITE DU SECOND CHAPITRE.

DES COMBUSTIBLES.

286. On appelle *combustibles* les substances qui ont la propriété de se combiner avec le gaz oxigène, et de dégager, dans cette combinaison, de la chaleur et de la lumière.

Parmi les corps combustibles, il en est qui sont spécialement employés pour produire de la chaleur, et, de tous ces corps, nous ne considérons que ceux qui sont en usage, ou qui peuvent servir à la fusion des minérais de fer, à la séparation et à l'épuration de ce métal.

Trois espèces de combustibles peuvent être affectées séparément, ou concurremment au travail du fer : le bois, la tourbe et la houille. Nous allons examiner séparément l'usage et les propriétés de chacune de ces substances.

DU BOIS.

287. Les bois ne sont ordinairement employés dans leur état naturel et sans avoir éprouvé de préparations préliminaires, qu'aux grillages des minérais; il est rare qu'ils servent à la fusion des oxides de fer avant d'avoir subi une opération préalable, qui est la carbonisation. Garney

dit (1) que l'on essaya de fondre des minérais de lac (*sée erzen,* espèce de mines limoneuses) avec des morceaux de bon bois de chêne très-sec, au lieu de charbon, mais que le travail fut fait avec perte. Comme ces minérais sont les plus fusibles, et que le bois de chêne est le meilleur, on en a conclu qu'avec d'autres minérais et avec un autre bois, la perte aurait été plus considérable encore.

Cependant Swedenborg décrit la manière de traiter les minérais de fer des marais, à Groning en Angermanie, avec du bois bien sec, dans des petits fourneaux de 5 à 6 pieds de haut (2); (Nous ferons connaître ce procédé en parlant des moyens d'obtenir le fer par une seule opération.) mais il paraît que cette méthode ne peut pas être appliquée, avec un égal succès, à la fusion des minérais de fer dans les hauts fourneaux; et Swedenborg rapporte à ce sujet (3), *des essais qui ont été faits pour fondre la mine avec du bois en menus morceaux mêlés avec du charbon;* d'où il conclut que l'ancienne méthode, *de n'employer que des charbons seuls, est préférable.*

Un grand nombre de métallurgistes ont essayé de fondre des minérais soit avec du bois seul, soit avec du bois mêlé de charbon de bois dans des proportions très-variées (4); et comme, malgré les résultats obtenus par ces essais, on continue l'usage du charbon de bois seul et sans mélange, nous croyons ne devoir examiner, dans cette section, que les propriétés du bois carbonisé, ou mieux du charbon de bois.

Du Charbon de bois.

288. Le charbon de bois, lorsqu'il est pur, est une combinaison de carbone, de terre, d'alcali, d'oxide de fer, de manganèse, et d'un peu d'hydrogène. L'hydrogène que nous avons observé (5) être partie

---

(1) Tome 2, chapitre 6, §. I.

(2) Traité du fer, 1re classe, §. III, de la manière de fondre les minérais des marais.

(3) Traité du fer, 1re classe, §. XXII.

(4) Marcher : Beitragge zur Eisen-hütten-kunde, 1re partie, pages 135 et suiv.

(5) Statique chimique, 2e partie, page 43.

constituante des charbons fortement calcinés, se trouve en quantité inappréciable (1).

On distingue sous le nom de *cendres,* les substances terreuses, alcalines et métalliques que laisse le bois ou le charbon après sa combustion; les proportions de carbone, dans 1000 parties de charbon calciné, sont assez ordinairement, d'après Mushet (2) entre 900 et 985, et celles des cendres, entre 15 et 100. Lampadius (3) croit que la proportion des cendres dans le charbon, est de 1 à 3 pour 100.

289. La pesanteur du charbon est extrêmement variable; elle diffère selon la nature des bois qui l'ont produit, le temps pendant lequel il a été exposé à l'air, et l'humidité des charbonnières.

La pesanteur du charbon bien sec est sensiblement proportionnelle à celle du bois d'où il a été obtenu, si ces bois ont été bien carbonisés. La pesanteur des différents bois que l'on carbonise ordinairement en Europe sont (4):

ESPÈCES.	POIDS DU DÉCIMÈTRE CUBE.	ESPÈCES.	POIDS DU DÉCIMÈTRE CUBE.
L'alizier...........	871 grammes.	Le charme.........	759,8 gramm.
L'aune............	654,9.	Le châtaignier.....	685,1.
Le bouleau........	701,9.	Le chêne..........	905,1.

(1) D'après les analyses du bois, les plus récentes, faites par Gay-Lussac et Thenard, ce végétal est composé de carbone, d'eau et de cendres. L'hydrogène qui s'y trouve, et qui se dégage dans l'expérience, est dans une telle proportion avec l'oxigène, qui se combine avec le carbone pour former de l'acide carbonique, que, si l'on réunissait ces deux gaz ensemble, ils formeraient de l'eau. Il semblerait donc, d'après ce résultat, que l'hydrogène qui se dégage du charbon, dans les analyses que l'on fait de ce combustible, pourrait provenir de la décomposition de l'eau restée dans le charbon, même après la plus forte calcination. Au reste, comme l'expérience doit prononcer dans cette circonstance, il faut attendre les résultats que ces deux savants chimistes obtiendront.

(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 9, pages 28 et suiv.

(3) Garney, livre 2, chap. 6, §. I.

(4) Art du Charpentier par Hassenfratz, 1re partie, page 4.

ESPÈCES.	POIDS DU DÉCIMÈTRE CUBE.	ESPÈCES.	POIDS DU DÉCIMÈTRE CUBE.
Le cormier........	910,4 gramm.	Le pin............	600 grammes.
L'érable...........	755.	Le poirier.........	705.
Le frêne..........	787.	Le sapin..........	486.
Le hètre..........	720,14.	La sapinette......	498.
Le mélèze.........	656.	Le tilleul..........	549.
L'orme...........	700,3.	Le tremble........	526,7.
Le peuplier........	400 et 600.		

290. Kirwann ayant pris la densité de quelques charbons de bois, établit ainsi leur rapport :

ESPÈCES DE CHARBON.	DENSITÉ.	POIDS DU MÈTRE CUBE.	POIDS DU PIED CUBE.
De bois de chêne....	.....0, 532......	......532 kil.	.....37 liv. 4°.
——— de hêtre.....	.....0, 542......	......542.......	.....37. 15.
——— de peuplier..	.....0, 280......	......280.......	.....19. 10.
——— de sapin.....	.....0, 441......	......441.......	.....30. 14.

Les poids résultants de ces densités sont beaucoup trop grands, et cela, parcé que ce célèbre chimiste aura laissé les charbons s'imbiber d'humidité, ce qui aura diminué considérablement le volume de l'eau déplacée.

D'après des expériences que nous fîmes en 1792, et dont nous rendrons compte lorsque nous traiterons de la carbonisation des différents combustibles employés dans les usines, nous trouvâmes que le poids des différents charbons, pris immédiatement après la carbonisation, était :

ESPÈCES DE CHARBON.	DENSITÉ.	POIDS DU MÈTRE CUBE.	POIDS DU PIED CUBE.
De bois d'alizier	0, 196	196 kil.	13 liv., 12.
—— d'aune	0, 134	134	9, 6.
—— de bouleau	0, 203	203	14, 21.
—— de charme	0, 183	183	12, 130.
—— de chêne	0, 155	155	10, 140.
—— d'érable	0, 164	164	11, 80.
—— de frêne	0, 200	200	14.
—— de hêtre	0, 187	187	13.
—— d'orme	0, 180	180	12, 10.
—— de poirier	0, 252	252	17, 64.
—— de sapin	0, 076	072	5,
—— de tilleul	0, 106	106	6, 70.

Le pied cube de charbon, mesure de Vienne est (poids de Vienne, d'après Marcher, paragraphe 375 de son article des Combustibles) : charbon de pin, 8 livres; de bouleau, 13 livres 3 loth, et de chêne, 15 livres.

Le pied cube du charbon de bois de chêne sec et fraîchement carbonisé, est, d'après les expériences des ingénieurs Blavier et Brochain, de 13 livres et demie, et celui du mètre cube, de 200 kilogrammes (1).

L'ingénieur Furgaud ayant pris, à notre sollicitation, le poids du charbon de bois dur que l'on consume à la fonderie centrale de Conflans, et l'ayant pesé lorsqu'il était encore chaud, trouva le poids du pied cube de 18 livres.

Sur l'invitation du préfet du département du Cher, M. Barral, les maîtres de forges, Aubertot et Durand, firent diverses observations sur

(1) Journal des Arts et Manufactures, tome 7, page 260.

les bois et sur les charbons (1); ils trouvèrent que le pied cube de charbon pesait:

De rondin de chêne	16$^{liv.}$
De cimée de chêne	15. 15°.
De taillis de chêne	11.
De regales de chêne	10. $\frac{1}{2}$.
De cimée et regales de chêne	10. $\frac{2}{3}$.
De tremble	12.
De tremble et chêne	9.
De cimée de chêne et bois blanc	14.

A notre sollicitation, l'ingénieur Beaussier ayant pesé du charbon de bois de sapin fraîchement apporté à Pesey, a trouvé que son poids était de 7 liv. $\frac{83}{100}$ le pied cube.

Le sac de charbon contient environ 5 pieds cubes $\frac{3}{4}$; il pèse communément de 90 à 100 livres; c'est 15 liv. $\frac{1}{2}$ à 17 liv. $\frac{1}{2}$ le pied cube. La banne de charbon des forges contient, d'après M. d'Angenoust (2), 107 pieds cubes environ; elle pèse 1500 liv. le charbon de bois tendre, et jusqu'à 2560 liv. le charbon de bois dur; ce qui porterait environ à 14 liv. le poids du pied cube de charbon de bois tendre, et à 24 livres celui de bois dur. Mais ce poids paraît beaucoup trop considérable, quoique le bois soit déja supposé pénétré d'une petite quantité d'humidité. Le charbon de sapin de Styrie pèse de 10 à 11 liv. le pied cube, lorsqu'il est encore humide.

On voit, d'après ces observations, que les charbons de bois diffèrent considérablement de pesanteur entre eux, et que cette grande différence a lieu également entre des charbons de même bois, puisque l'on a trouvé que le bois de chêne pese entre 10 liv. $\frac{1}{2}$ et 24 liv. le pied cube, ou plus exactement entre 10 et 16 liv. Parmi les causes qui contribuent

(1) Journal des Mines, n° 154, pages 290 et suivantes.

(2) Addition à l'Art du Charbonnier, page 678. Edition de Neuchâtel.

à produire cette différence, on distingue particulièrement l'espèce de terrain dans lequel le bois a crû, et l'humidité dont le charbon a été pénétré depuis l'instant où il a été retiré du four.

Duhamel-Dumonceau avait déja observé combien le terrain influait sur la pesanteur, la dureté et la résistance des bois qui y croissent, et les observations des maîtres de forges, Aubertot et Durand, prouvent également combien il influe sur la pesanteur du charbon que l'on en obtient. Le chêne que M. Aubertot a fait carboniser, avait crû sur un terrain pierreux. Le poids du pied cube de charbon qu'il a produit était de 16 liv. Celui que M. Durand a fait carboniser avait crû sur un sol gras et humide. Le poids du pied cube de charbon qu'il en a obtenu était de 11 liv. L'arrangement des charbons dans la banne dans laquelle on le transporte, a aussi contribué, pour quelque chose, à cette différence de pesanteur (1).

291. Lorsque les charbons sont exposés quelque temps à l'action de l'air et de l'eau, ils absorbent peu-à-peu de l'humidité, et ils augmentent de poids. L'ingénieur Beaussier ayant exposé des charbons de sapin et de mélèse à l'humidité, trouva que le premier avait augmenté de poids de 36 pour 100 du charbon sec, et le second de 23; et ces charbons étaient loin d'être arrivés au maximum d'humidité qu'ils peuvent atteindre.

L'ingénieur Furgaud a répété, dans la fonderie centrale de Conflans, sur du charbon de bois de châtaignier mêlé d'un peu de bois de chêne, les mêmes expériences que l'ingénieur Beaussier avait faites sur des charbons de sapin et de mélèse.

On livre, dans le département du Mont-Blanc, le charbon à la charge; la demi-charge forme un volume de 0^{m}, 2409. M. Furgaud a fait peser six demi-charges de charbon; leur poids était de 501 livres, ce qui fait 83 liv. $\frac{1}{2}$ par demi-charge, et 18 liv. environ par pied cube. Quinze jours après, le volume était diminué de 0,07. Le poids total de charbon était

(1) Journal des Mines, n° 154, pages 290 et suivantes.

de 502 livres, et celui de la demi-mesure de 89 liv. $\frac{1}{5}$. Après un mois de séjour en magasin, le volume était diminué de 0, 17. Le poids total était de 465 livres; ce qui porte la mesure à 93 livres, et le pied cube à 20 livres : d'où il suit, 1° que le charbon resté en magasin diminue de volume et de poids; 2° que la pesanteur de la mesure augmente.

Pour nous assurer si cette diminution de poids provenait de la vaporisation de quelques parties de combustible, ou seulement de ce qu'une portion se pulvérisait par l'action de l'humidité qui le pénétrait, ce qui faisait perdre cette portion pulvérisée, nous avons pesé des charbons qui étaient restés quelque temps en magasin; nous les avons calcinés et pesés ensuite; puis nous les avons plongés dans l'eau et les avons laissé fuser à l'air pour les peser après. Nous avons trouvé que 100 parties de différents charbons qui étaient restés quelque temps en magasin, pesaient, après avoir été plongés dans l'eau et séchés,

ESPÈCES DE BOIS.	CALCINÉ.	PLONGÉ DANS L'EAU ET SÉCHÉ.
Bois de chêne	0, 9	1, 27.
—— de charme	0, 9	1, 40.
—— de hêtre	1, 0	2, 57.
—— blanc	0, 87	1, 34.

Ce qui prouve que le charbon sec se pénètre d'humidité, et qu'il augmente de poids en le laissant exposé à l'air; que cette augmentation peut être portée, dans quelques circonstances, à plus du double du poids du charbon sec et fraîchement calciné; enfin, que la diminution dans le volume et le poids du charbon, lorsqu'on le laisse exposé à l'action de l'air, provient de la pulvérisation que l'humidité occasionne.

Il est donc, d'après ces faits, extrêmement difficile d'assigner, soit la pesanteur spécifique des différents charbons, soit celle d'un volume donné de ces charbons, sans avoir exposé le combustible à une forte

température, dans des vaisseaux clos, et sans l'avoir amené, par une forte calcination, à une dessication constante.

292. Les charbons plus ou moins secs, plus ou moins humides, brûlent de différentes manières selon l'état dans lequel ils se trouvent, et ils produisent des quantités de calorique dépendantes de ces éléments.

Guyton (1) a observé que, lorsque le charbon est récemment calciné dans un creuset, avec de la poussière de charbon, que l'on en a chassé toute l'eau qu'il contenait, il brûlait avec une extrême difficulté, et que lorsqu'il a été exposé pendant quelque temps à l'action réunie de l'air et de l'eau, il brûlait beaucoup mieux. Il suffit alors, d'après l'observation de Guyton (2), de l'exposer dans l'air atmosphérique à une température de 150 degrés de Réaumur, pour l'enflammer, lorsqu'il a la quantité d'humidité qui favorise la combustion.

Desirant nous assurer, d'après l'expérience, à quelle température il fallait élever les charbons pour les enflammer, nous plaçâmes dans des creusets des fragments de divers charbons, à côté desquels nous mîmes également des morceaux de fer dont nous connaissions le poids. Nous chauffâmes graduellement chaque creuset jusqu'à l'instant où les charbons commencèrent à s'enflammer.

Nous avions disposé d'avance plusieurs vases de porcelaine dans lesquels nous avions mis une quantité déterminée d'eau.

Aussitôt que nous pûmes distinguer la plus légère inflammation dans les charbons, nous les retirâmes et nous jetâmes, dans l'eau de l'un des vases, le fer qui avait été placé à côté du charbon.

Connaissant le poids et la température de l'eau avant l'immersion du fer, déterminant ensuite, par l'expérience, l'augmentation de la chaleur de l'eau occasionnée par le refroidissement du métal; connaissant également et le poids du fer, et la capacité de l'eau et du fer pour le calorique, il nous était facile de déterminer, par la méthode de Cou-

---

(1) Encyclopédie par ordre de matières, Chimie, tome 1, 2e partie, page 114.

(2) *Idem*, tome 1, 1re partie, page 2.

lomb (1), quelle température le fer avait avant l'immersion; et comme le fer devait avoir acquis le même degré de chaleur que le charbon, au moment où celui-ci s'est embrasé, il s'ensuit que nous avons trouvé, par ce moyen, la température à laquelle ce charbon s'est enflammé.

Nous avons trouvé ainsi, par cette méthode, que de la braise provenant du bois de hêtre qui avait été brûlé dans une cheminée, s'était enflammée à 180 degrés centigrades, correspondant à 144 degrés de Réaumur.

Que du charbon de bois de sapin et de bois de hêtre qui avait séjourné pendant plus de trois mois dans la charbonnière, s'était enflammé, le premier, à 300 degrés centigrades, le second, à 332 degrés.

Des fragments séparés des mêmes morceaux de charbon de sapin et de hêtre, qui avaient été éprouvés, ont été calcinés dans un creuset rempli de poussière de charbon. Ils ont été soumis à la même épreuve après la calcination; le premier, celui de sapin, s'est enflammé à 705 degrés, et le second, celui de hêtre, à 816 degrés.

Il résulte de ces faits, que la propriété qu'ont les charbons de bois de brûler dans l'air, varie non-seulement avec la dessication du charbon, mais encore avec sa densité et l'état de carbonisation où il a été amené.

Les charbons qui ont une grande densité, brûlent plus difficilement que ceux qui sont plus légers; aussi les charbons de chêne sont-ils plus difficiles à enflammer que ceux de bois de peuplier et de sapin.

293. L'état de carbonisation du bois influe encore sur cette combustion; car, le bois exposé à la température de l'eau bouillante laisse d'abord vaporiser l'eau qu'il contient; les acides, les huiles se vaporisent ensuite: en augmentant un peu la température, le bois brunit et se carbonise, puis il s'enflamme. En général, il paraît que le bois ne commence

---

(1) Soit x, la température du fer; M, sa masse; C, sa capacité de chaleur; m, la masse de l'eau; c, sa capacité de chaleur, et B, l'augmentation de la température de l'eau, on a $x = B\frac{(MC+mc)}{MC}$. *Voyez* les Leçons de Physique de l'Ecole Polytechnique, p. 128.

à brûler que lorsqu'il a été carbonisé, que lorsque l'on a chassé toutes les substances vaporisables qu'il retenait, et alors il brûle à la température propre aux charbons fraîchement carbonisés. Mais s'il a déja commencé à brûler, soit dans le four, soit ailleurs, et qu'on l'éteigne, ou qu'il ait été amené à l'état de braise par une continuation de combustion, il brûle enfin, quoique très-sec, avec une assez grande facilité; et cette facile combustion s'observe habituellement lorsque l'on a enflammé concurremment de la braise et du charbon; c'est toujours la première qui s'enflamme, et qui sert ensuite à enflammer le second.

Selon que l'air contient plus ou moins d'oxigène, ou qu'il est plus ou moins dense, les charbons peuvent encore s'embraser à une température plus ou moins élevée : on sait avec quelle difficulté Saussure est parvenu à faire du feu sur des montagnes très-élevées. Nous avons tous les jours des exemples de l'effet de l'air condensé, par les charbons embrasés que l'on enterre dans la cendre et que l'on découvre quelque temps après; il est peu de ménagères qui n'aient observé que les braises, encore chaudes, exposées à l'action de l'air, restent souvent noires sans donner d'indice d'inflammation, et qu'elles s'enflamment aussitôt que l'on a dirigé dessus, avec un soufflet, de l'air atmosphérique plus condensé que celui qui les touche.

Ainsi la nature du bois avec lequel on fait le charbon, l'état de carbonisation dans lequel il se trouve lorsque l'on étouffe le four, le degré d'humidité dont il est pénétré, la densité et la pureté de l'air, sont autant de causes qui font varier sa combustibilité et la température à laquelle il se brûle.

Pour qu'un combustible puisse brûler, il ne suffit pas qu'il soit rouge de feu et qu'il soit exposé à l'action de l'air libre, il faut encore qu'il soit élevé à une température où il puisse se combiner avec l'oxigène, relativement au degré de pureté et de condensation de ce gaz. Chaque charbon de bois, comme on a vu, exige des températures différentes; les houilles paraissent en exiger de plus fortes encore, car il en est, parmi elles, qui brûlent avec une telle difficulté, qu'on leur a donné le nom d'*antrachite.*

294. Les charbons, relativement à leur combustibilité, peuvent être employés à des usages différents : on réserve, pour fondre les minérais dans les hauts fourneaux, des charbons durs, compactes, pesants, et pour traiter la fonte dans les affineries, des charbons tendres, moux, légers.

On divise ordinairement les charbons en trois espèces relativement aux bois qui les produisent : charbons de bois dur, charbons de bois tendre, et charbons de bois résineux.

On place dans les bois durs, le châtaignier, le chêne, le charme, le noyer, l'érable, le sycomore, quelques personnes y mettent aussi l'orme, d'autres le rangent parmi les bois qui fournissent des charbons tendres.

Selon Mushet (1), les différents charbons, relativement à leur qualité pour les hauts fourneaux, peuvent être classés dans l'ordre suivant : les bois de châtaignier, de chêne, de noyer, d'hêtre, d'érable d'Amérique, de sycomore, d'orme, de pin de Norwège, de saule, de frêne, de bouleau, de pin d'Ecosse; et, d'après Garney (2), celui des bois de bouleau, d'aune, de pin, de tremble, de sapin. Ce sont les seuls bois que l'on exploite ordinairement en Suède pour les usines à fer.

Cet ordre de bonté peut varier dans quelques endroits, soit par la nature du terrain dans lequel le bois a crû, soit par l'exposition qu'il a eue, soit par l'âge qu'il avait quand on l'a coupé, soit enfin par rapport à la partie des arbres que l'on a carbonisée.

Quelques personnes pensent (3) que le charbon participe aux qualités du terrain dans lequel le bois a crû et sur lequel il a été cuit; ainsi elles regardent comme un charbon fort et résistant, celui qui a crû dans l'argile, et celui qui a crû dans le terrain calcaire, comme devant être léger et facile à brûler. Nous avons vu que le terrain, lorsqu'il est sec, pierreux,

---

(1) Journal des Arts et Manufactures, tome 9, pages 32 et suivantes.

(2) Livre 2, chapitre 6, §. 1.

(3) Arts et Métiers de l'Encyclopédie, Art du Charbonnier, t. 1, part. 2, pag. 519.

gras ou humide, influe en effet sur la pesanteur du charbon que l'on obtient du bois qui y a crû. Quant à la qualité dépendante de l'espèce de terre sur laquelle il a été cuit, nous n'avons encore aucune donnée qui puisse nous conduire à partager cette opinion. Cependant nous verrons, en traitant des fers vicieux, que les charbons cuits sur des places recouvertes de terre calcaire, sont plus favorables pour affiner du fer qui est naturellement cassant à froid, que celui qui a été cuit sur tout autre terrain, et cela parce que la terre calcaire du sol, que l'on ramasse avec le charbon, favorise la destruction d'une partie du vice inhérent au fer.

En général, un bois qui croît encore, produit du meilleur charbon que celui qui ne croît plus, et celui-ci en produit de meilleur que le bois qui est sur le retour. Aussi préfère-t-on assez généralement des bois coupés à 18 ou 20 ans (1), pour la confection du charbon, à celui que l'on coupe à tout autre âge. Les vieux bois donnent des charbons qui s'impreignent promptement d'humidité et qui tombent en poussière.

Dans quelques pays, on est dans l'habitude d'écorcer sur pied les bois avant que de les couper. Ces bois, connus à Paris sous le nom de *pelards*, acquièrent, par cette opération, plus de dureté. Le charbon qui en provient présente assez de différence dans sa qualité pour que plusieurs maîtres de forges préfèrent celui auquel on a conservé l'écorce.

On divise le charbon, dans plusieurs forges, en aigre, doux, fort, faible, selon la qualité du fer que l'on en obtient et la proportion du minérai qu'il fond. Beaucoup de maîtres de forges sont persuadés (2) que le vieux bois de chêne (celui qui est sur le retour) donne un charbon aigre, tandis que le chêne en taillis donne un charbon doux.

295. Parmi les méthodes que l'on suit pour carboniser les bois, il y en a selon lesquelles on arrange les buches en meules coniques avec des

(1) Art du Charbonnier, édition de Neuchâtel, page 655.

(2) *Idem*, page 675.

branchages ou des morceaux placés verticalement; d'autres selon lesquelles on construit des parallélipipèdes, en couchant le bois horizontalement. L'opinion de Garney est que cette dernière manière de disposer le bois produit un charbon qui fond plus de minérai que celui que l'on obtient par la première méthode. M. Iroy, maître de forge à la Hutte, et plusieurs autres sidérurgistes partagent l'opinion de Garney. M. Iroy dit avoir obtenu de meilleurs résultats des bois carbonisés horizontalement que de ceux qui l'avaient été verticalement. Ces assertions auraient besoin d'être vérifiées de nouveau, quoique tout conduise à leur donner le degré de confiance qu'elles paraissent mériter, et cela parce qu'il paraît que les buches horizontales se carbonisent plus également que les buches verticales.

La manière de carboniser le bois, la tourbe et la houille étant décrite dans le premier livre de ce Traité de Minéralurgie, sous le titre de *Pyriturgie,* nous nous abstiendrons d'en parler dans ce second livre.

296. On reconnaît que le charbon est bon et bien cuit lorsqu'il est dur, compact, sonore, brillant, en gros morceaux qui se rompent facilement et qui présentent la couleur de l'Iris dans leur cassure ; quelques-uns doivent être pesants, d'autres légers, suivant la nature des bois qui les produisent.

Lorsque les charbons ne sont pas assez cuits, ils ont une couleur grisâtre; ils produisent une flamme blanche, se rompent difficilement, et brûlent comme le bois, en répandant de la fumée, ce qui les fait appeler *fumerons.*

Les charbons trop brûlés sont d'un noir terne; ils sont très-tendres, ne produisent plus de son, et ont beaucoup de ressemblance avec la braise. A Paris, où le prix des combustibles suit assez la quantité de chaleur qu'ils procurent, le prix de la braise est à celui du charbon à-peu-près :: 3 : 8 (1).

Garney prétend que les charbons provenant des bois qui ont été

---

(1) Art du Charbonnier, édition de Neuchâtel, page 647, note (*d*).

chauffés pour en retirer le goudron brûlent trop vîte, et produisent une fonte qui donne un fer cassant à froid.

Il paraît qu'il y a encore diversité d'opinion sur la bonté des charbons et sur la préférence que l'on doit donner à ceux qui ont été obtenus en vaisseaux clos, pour en séparer les goudrons et les acides, sur ceux qui ont été obtenus dans les charbonnières ordinaires.

Gaertner (1) annonce que, les bois carbonisés en petits tas, c'est-à-dire, dans lesquels on ne carbonise que de petites quantités de bois à-la-fois, comme on le pratique dans le Thuringen, donnent des charbons préférables à ceux que l'on obtient en grand tas, selon la méthode pratiquée dans le Hartz.

297. Le bois est carbonisé dans la forêt, il est amené aux usines, soit dans des sacs portés par des hommes, par des mulets ou par des chevaux, soit dans des voitures particulières auxquelles on donne le nom de *bannes*. Il faut employer dans chaque pays le mode le plus commode et le plus propre à conserver le charbon sans le briser.

Dans les pays de montagnes où l'on ne peut pas faire usage des voitures pour transporter du charbon, on le met dans des sacs qui peuvent avoir différentes dimensions relativement à la mesure de pays et au mode de transport; ils contiennent ordinairement de 4 à 6 pieds cubes de charbon.

Dans les pays de plaines, on transporte le charbon dans des voitures; ce sont des caisses ou des claies d'osier, montées sur des roues, contenant une mesure fixe et constante de charbon, mais qui varie selon les lieux; celles de la ci-devant Champagne contiennent de 106 à 108 pieds cubes; le charbon qu'elles portent pèse de 1500 à 2560. A la fonderie de Sainte-Gertrude, en Carinthie, le chariot à claies contient 71 à 72 pieds cubes de Vienne, ou 50 pieds cubes de France environ; le charbon pèse 780 liv. de Vienne, ou 542 liv. de France; ce qui porterait le pied cube à 10$^{liv.}$, 8; c'est du charbon de bois résineux. La

(1) J. F. Tolles und L. E. S. Gaertners, Eisen-hütten-Magazin, 2e partie, page 79.

banne de Carinthie est montée sur quatre roues, celle de Champagne sur deux : on préfère cette seconde manière, parce que le charbon y est moins cahotté et y éprouve moins de déchet.

298. Le charbon est déposé dans des charbonnières près de l'usine; ce sont de grands bâtiments couverts pour garantir le combustible de la pluie, de la neige et de l'humidité.

La charbonnière est formée, dans quelques endroits, de quatre gros murs recouverts d'un toit en tuiles ou en ardoises; dans d'autres, elle est simplement construite avec de gros poteaux en bois, fermés et recouverts avec des planches. Cette seconde méthode est assez généralement préférée, parce que, lorsque les charbonnières sont incendiées, les frais de reconstruction sont moins considérables, et que le charbon y est plus sec que dans les charbonnières murées, attendu que les murs deviennent conducteurs de l'humidité qui altère promptement le combustible.

Il faut, lorsque l'on construit une charbonnière, remplir trois conditions : 1° que le sol soit sec; 2° qu'elle soit à la portée des fourneaux; 3° qu'elle soit abritée des étincelles qui sortent du gueulard, et qui peuvent les incendier.

Les hangards à charbon doivent avoir 30 à 40 pieds de côté, et 12 à 18 pieds de haut; ils doivent contenir de 30 a 50 mille pieds cubes de charbon. Lorsqu'ils sont en planches, il faut poser les pans de bois de face sur de petits murs en maçonnerie.

299. On est dans l'habitude de laisser le charbon séjourner quelques semaines dans la charbonnière avant de l'employer, afin qu'il se pénétre d'une petite portion d'humidité qui augmente sa *combustibilité*. Il paraît (et c'est l'opinion de Garney, de Gaertner, de Marcher, et d'un très-grand nombre de maîtres de forges) que l'on consume beaucoup plus de charbon frais, sortant du four, pour obtenir une quantité donnée de fonte, que l'on ne brûle de charbon qui a séjourné quelque temps dans la charbonnière.

Mais il faut éviter de l'y laisser trop long-temps séjourner, sur-tout si le magasin est humide, parce qu'il serait pénétré d'une trop grande

quantité d'eau; qu'il se décomposerait et ferait tomber le charbon en poussière. Il vaut mieux employer le charbon trop frais, que trop vieux; il est même des circonstances où il est nécessaire de brûler du charbon frais : c'est lorsque le fourneau se refroidit, et que l'on craint qu'il ne s'engorge. Comme le charbon frais produit beaucoup plus de chaleur lorsqu'il a traversé la bure, et qu'il descend pour se brûler dans l'espace que forment les étalages, il élève la température du fourneau à un plus haut degré, et fait fondre les matières qui pourraient occasionner des engorgements.

300. L'espèce de contradiction que semblaient présenter les expériences de Guyton et les nôtres (d'où il résulte que le charbon fraîchement calciné se brûle difficilement), avec l'opinion des savants et des maîtres de forge instruits (que l'on brûle d'autant plus de charbon que le bois est plus fraîchement carbonisé), nous détermina à prier plusieurs directeurs de forge de faire des expériences qui pussent nous donner les moyens de trouver les causes de cette contradiction. L'ingénieux propriétaire des forges de Beauchamp, Ramus, est le seul qui ait encore répondu à notre invitation; et nous joignons ici le résultat qu'il nous communiqua (1).

---

(1) « Il y avait deux mois, le 18 décembre 1809, que le fourneau de Beauchamp, près « de Digouin-sur-Loire, était en feu. Sa hauteur totale est de 26 pieds; son vide inté- « rieur est une surface de révolution dont le grand diamètre, aux étalages, est de 5 pieds « 6 pouces. Le minérai que l'on y traite et un oxide terreux à petits grains extrême- « ment fins, réunis par une terre argileuse difficile à fondre. Ce minérai bien lavé pro- « duit au haut fourneau de 22 à 25 pour 100.

« La fonte qui provient de ce minérai est d'un gris foncé; elle est douce à la lime « et au burin, elle est forte et tenace, et propre à faire toutes sortes de moulages, tant « pour les machines que pour l'artillerie. Le fer qui résulte de cette fonte est de pre- « mière qualité, très-ductile et nerveux. Il donne de bon acier par la cémentation.

« Le charbon de bois dont on se sert, vient de taillis de chêne qui peuvent avoir 15 « à 20 ans.

« L'air nécessaire à la combustion est fourni par une machine soufflante à cylindres « de fonte de fer, et à double effet; elle fut construite à Beauchamp même. Cette « machine est mue par une roue à augets qui a 16 pieds de diamètre. La pression

On voit, d'après ces expériences, que le charbon fraîchement carbonisé brûle plus vîte que celui qui a séjourné quelque temps dans les charbonnières, qu'il élève la température du fourneau à un beaucoup

---

« de l'air est en équilibre avec une colonne d'eau de 2 pieds de hauteur environ. L'orifice « de la buse, ou du porte-vent, a de 20 à 22 lignes de diamètre.

« Comme l'on a toujours, dans cette fonderie, du charbon anciennement carbonisé, « que l'on conserve dans des magasins bien secs et bien couverts, on le mêle ordinai- « rement avec moitié de charbon nouveau sortant de la cuisson.

« Chaque charge est composée de trois rasses ou paniers de charbon ancien, et trois « paniers de charbon nouveau, pesant ensemble, poids ancien........... 285 livres.
« La charge de minérai est de 12 conges, dont chacun pèse..... 48 liv. = 576.
« Un conge et demi de castine.. 75.

« On coule ordinairement à-la-fois vingt-quatre charges, faites pendant dix-huit heures. « Chaque coulée produit communément de 2800 à 3000 de fonte, selon que la mine est « plus ou moins riche.

Première Expérience.

« La coulée faite, on a composé les charges du fourneau comme il suit :

« 6 rasses de nouveau charbon sortant de la cuisson.
« 12 conges de minérai lavé.
« 1 conge et demi de castine.

« On a fait vingt-quatre charges en dix-sept heures. Le produit a été de 2875 livres. « Les nouvelles charges ne sont survenues à la tuyère qu'à la dix-huitième heure, parce « que le fourneau était plein de charbon mélangé lorsqu'on les a commencées, et qu'il « faut remplir le fourneau de ce nombre de charges pour s'apercevoir de l'effet de ce « changement. On n'a remarqué aucune différence ni dans le laitier, ni dans la qualité « de la fonte.

« On a continué les mêmes charges, et on s'est aperçu qu'elles étaient plus précipitées ; « le laitier est devenu moins clair et plus fluide, la tuyère extrêmement brillante : on a « supprimé le demi-conge de castine, et on a fait vingt-quatre charges en quinze heures ; « la fonte était grise, de bonne qualité. Le produit a été de................ 2705 liv.

« La grande fusibilité a déterminé à ajouter un conge de minérai de plus, ce qui « faisait 13. On a fait vingt-quatre charges en seize heures. On a obtenu la même fonte « que la précédente. Le produit a été de................................ 2770 liv.

« En continuant les mêmes charges, on a remarqué que la tuyère se bouchait; que « le laitier était plus épais : on a remis le demi-conge de castine que l'on avait suppri-

plus haut degré, et qu'il produit moins de fonte avec la même quantité de minérai.

Si l'on voulait absolument indiquer une cause de ce fait positif, on

« mé, et en quinze heures on a fait vingt-quatre charges. La fonte était moins fluide « que la précédente; son grain était gris-blanc serré; elle était dure à la lime et au burin. « Le poids de la coulée était de .... 2710 liv.

« La même charge étant continuée, le laitier est devenu plus fluide : on en a fait « vingt-quatre en quinze heures. La fonte avait un grain serré gris-blanc; elle était dure « à la lime et au burin. Le poids de la coulée a été de .... 2740 liv.

Deuxième Expérience.

« On a substitué aux charges faites avec du charbon nouveau d'autres charges faites « avec la même quantité de charbon qui avait deux ans environ de carbonisation. L'on « a mis sur chaque charge de charbon, douze conges de minérai et un conge et demi « de castine. Les vingt-quatre charges ont été faites en seize heures. On a obtenu la même « qualité de fonte que la précédente. Le poids de la coulée a été de .... 2800 liv.

« Continuant les mêmes charges, on en a fait vingt-quatre en dix-neuf heures; le laitier « est devenu plus épais, la tuyère est devenue noire, l'ouvrage plus difficile à travailler; « la fonte était d'un gris foncé et fluide. Le poids de la coulée a été de...... 2830 liv.

« On a continué les mêmes charges. Le laitier étant devenu très-épais, on a ajouté un « demi-conge de castine, ce qui fait deux conges. La fonte est devenue fluide d'un gris « foncé. L'on n'a fait que vingt-quatre charges en vingt et une heures, et le poids de « la coulée a été de .... 2960 liv.

« Continuant encore les mêmes charges; le laitier étant devenu plus clair, on a ajouté « un conge de mine et deux conges de castine. On n'a fait que vingt-quatre charges « en vingt-deux heures. La fonte a été fluide, d'un gris foncé; le laitier bon, la tuyère « claire. Le poids de la coulée a été de .... 2950 liv.

« Avec les mêmes charges, la tuyère est devenue noire, le laitier d'une bonne flui- « dité, la fonte d'un grain fin et d'une couleur grise. L'on a mis vingt et une heures à « faire vingt-quatre charges. Le poids de la coulée a été de .... 3250 liv.

« Avec les mêmes proportions, on a fait vingt-quatre charges en vingt heures; la « fonte a été d'un grain plus fin et plus serré; elle a été moins grise que la précédente, « dure à la lime et au burin. Le poids de la coulée a été de .... 3175 liv.

« On a changé les charges de charbon; on a mis moitié charbon ancien et moitié « nouveau : on a fait vingt-quatre charges en dix-neuf heures; on a laissé la même « quantité de mine et de castine. La fonte obtenue avait le même grain et la même cou-

3.

pourrait observer que le charbon nouveau brûlant plus vîte, le minérai est moins long-temps en contact avec lui; qu'il se désoxide, et qu'il se carbonise moins que quand la charge met plus de temps à descendre; de-là que la fonte doit être moins grise, et qu'une partie du minérai, encore à l'état d'oxidule, est dissoute par les verres terreux qui entrent plus promptement en fusion; enfin, que les laitiers, quoique plus fluides (à cause de la plus haute température et de l'action de l'oxide de fer sur les verres terreux), sont plus lourds et plus pesants. Tout fait croire que c'est en diminuant la vîtesse des machines soufflantes, et en faisant entrer moins d'air dans le fourneau, pour diminuer la combustion et y retenir la charge plus long-temps, qu'on peut obvier à cette plus grande consommation de charbon, qui produit une fonte moins bonne et en moins grande quantité.

301. Il est nécessaire, lorsqu'un fondage est commencé, de faire usage d'un charbon qui produise une température et un vîtesse de descente égales, afin de charger des quantités constantes de minérai. Si l'on voulait employer le charbon au sortir des fours, il faudrait que la carbonisation fût distribuée de manière que le combustible pût arriver successi-

---

« leur que la dernière. Le poids de la coulée a été de.................... 3200 liv.

« Avec les mêmes proportions on a fait vingt-quatre charges en dix-neuf heures. La « fonte était d'un grain fin et serré; sa couleur gris-blanc. Le poids a été de. 3350 liv.

« On a diminué un conge de minérai et un demi-conge de castine. On a fait vingt- « quatre charges en dix-huit heures. La fonte a été plus ouverte et d'un gris foncé. « Le poids de la coulée a été de...................................... 3100 liv.

« Il résulte de ces expériences, 1° que le charbon nouvellement carbonisé se consume « plus promptement en donnant moins de produit, quoique la quantité de minérai soit « la même.

« 2° Que le charbon anciennement carbonisé résiste plus long-temps à l'action de « l'air; qu'il donne un produit plus fort en fonte que celui du nouveau charbon.

« 3° Que le mélange de ces deux qualités de charbon est ce qu'il y a de plus avanta- « geux pour la fusion des minérais de cette nature. Cependant on préfère le charbon « ancien au nouveau pour l'usage de l'affinerie.

Fait à la forge et fonderie de Beauchamp, le 18 décembre 1807. *Signé* RAMUS. »

vement et en assez grande quantité pour fournir à la consommation; s'il arrivait alors quelques dérangements dans la carbonisation, on serait obligé d'arrêter et de supporter des pertes plus ou moins considérables.

La difficulté d'obtenir du charbon au moment où l'on en a besoin pour le haut fourneau, et sa plus grande consommation lorsque l'on brûle du charbon frais, a déterminé à faire des approvisionnements de ce combustible, ce qui oblige souvent les maîtres de forge à brûler du charbon qui a perdu une partie de sa force dans la charbonnière.

Les maîtres de forge pouvant être forcés, par les circonstances, à faire leur approvisionnement de charbon à des époques très-éloignées, il faut qu'ils disposent leur carbonisation et leur charbon de manière à ce qu'ils puissent toujours employer un combustible d'une force à-peu-près égale; et lorsqu'il s'en trouve dans lesquels il y a de grandes différences, ils peuvent égaliser la force du combustible en mêlant du charbon trop vieux avec du charbon nouveau.

En sortant ce combustible de la charbonnière, il faut éviter de le laisser séjourner trop long-temps dehors, dans la crainte qu'il n'y attire l'humidité et qu'il ne se détériore.

On conçoit facilement que la trop grande humidité diminue la force du charbon par deux causes différentes; 1° parce qu'il faut d'abord, en le chauffant, chasser l'eau qu'il contient, et que l'on est obligé ensuite, pour la dégager et la vaporiser, de consumer une partie de la chaleur provenant de la combustion; 2° parce que l'eau qui séjourne dans le charbon éprouve l'action de ce combustible, et qu'elle s'y décompose en partie; qu'une portion de l'hydrogène, de la partie décomposée, se combine avec une portion de carbone pour former du carbure d'hydrogène, et que l'oxigène provenant de cette même partie, se combine également avec du carbone, et forme, ou de l'oxide de carbone, ou de l'acide carbonique : c'est cette portion d'eau ainsi décomposée, qui le rend pulvérulent.

302. Comme on est toujours maître d'augmenter ou de diminuer la température du fourneau, en augmentant ou en diminuant la vîtesse du vent, pour déterminer une combustion plus rapide ou plus lente, il

s'ensuit que des fondeurs intelligents peuvent toujours employer des charbons frais ou vieux, sans augmenter ni diminuer la température du fourneau ni la vîtesse de la descente de la charge; mais la difficulté de trouver des fondeurs qui voudraient ou pourraient s'assujétir à tous les soins que nécessiteraient la variation dans la quantité d'air lancé, relativement à la nature des charbons employés, et les pertes considérables que pourraient occasionner de légères inattentions, ont déterminé les maîtres de forge à faire d'avance les provisions qui leur sont nécessaires, et à employer un charbon moins bon, mais dont la combustion soit uniforme.

Il est des pays où l'on ne brûle que du charbon dur dans les hauts fourneaux et dans les affineries; d'autres où l'on brûle du charbon tendre dans les deux fourneaux; d'autres enfin où l'on brûle du charbon dur dans les hauts fourneaux, et du charbon tendre seul dans les affineries. Lorsque l'on peut choisir ses charbons, il faut préférer la troisième méthode. Quelques métallurgistes, et en particulier Marcher, prétendent au contraire qu'il faut préférer une nouvelle méthode qui consiste, à mélanger dans le haut fourneau deux parties de charbon tendre sur une de dur. Il est probable que cette différence d'opinion tient aux localités et aux circonstances dans lesquelles se trouve chaque maître de forge.

3o3. Lorsqu'on a carbonisé des branches d'arbre ou du bois taillis d'un petit diamètre, le charbon peut être employé tel qu'il sort des fours à charbon; mais si l'on a carbonisé des troncs d'arbre d'un gros diamètre, ou même des gros quartiers d'arbre, le charbon obtenu est en trop gros morceaux pour être chargé immédiatement dans le fourneau, il occasionnerait, dans la cheminée, des vides considérables, à travers lesquels le minérai pourrait tomber avant que d'être désoxidé et fondu : le fourneau étant moins rempli, il y aurait moins de chaleur dégagée dans les mêmes espaces, et conséquemment une température moins élevée; il faut donc briser les gros charbons pour les rendre plus propres à la fusion.

Le charbon trop menu, celui qui est tombé en poussière par l'effet

de l'humidité, présente de nouveaux inconvénients : d'abord il remplit trop les espaces vides, il s'oppose par ce moyen à une libre circulation de l'air, étouffe le feu; ensuite, la poussière qui est très-souvent mêlée avec des terres, soit de l'aire du four, soit de la charbonnière, introduit des substances plus ou moins nuisibles à la fusion.

Les morceaux de charbon de la grosseur du poing, à-peu-près, sont ceux que l'on doit préférer.

DE LA TOURBE.

304. *La tourbe* est formée de débris de substances végétales que l'on trouve dans des marais encore existants, ou qui ont existé autrefois. Ces débris sont ordinairement des fragments de plantes, des racines plus ou moins décomposées, entassées, accumulées en dépôt de plusieurs pieds, et quelquefois même de plusieurs toises d'épaisseur.

Ce combustible présente de très-grandes différences. Marcher distingue quatre espèces de tourbes (1); 1° des *gazons,* remplie de racines non décomposées; 2° des *marais,* un peu plus décomposées; 3° de *poix,* noire, contenant un indice de plantes; 4° *bourbeuse,* tourbe dans laquelle on ne reconnaît aucune trace de végétal.

305. Lorsque la tourbe est extraite des lieux marécageux où les plantes ont été déposées et où ce combustible s'est formé, elle est remplie et pénétrée d'humidité; on la laisse exposée à l'action de l'air pour la sécher, quelquefois on la comprime pour la sécher davantage. Dans cet état, on la brûle pour produire de la chaleur, que l'on emploie, soit pour faire bouillir, pour faire vaporiser de l'eau, soit pour calciner de la chaux, soit au chauffage, etc.

Marcher rapporte plusieurs observations sur la pesanteur des tourbes, d'où il résulte que le pied cube, mesure de Vienne, pèse, lorsqu'elle est sèche, entre 9 et 60 livres, poids de Vienne; et que le pied cube de la même tourbe carbonisée varie entre 5 et 32 livres.

---

(1) Beytrage zur Eisen-hütten-kunde, etc., 6e volume, page 177.

Simplement séchée à l'air, la tourbe retient encore une quantité considérable d'eau et d'huile dont la proportion varie entre 0,22 et 0,75, et cela selon la nature, l'espèce et la pureté de cette substance; celle qui est la plus pure donne un plus grand produit à la distillation. Lorsque cette tourbe est exposée sèche à une température de 100 à 120 degrés de Réaumur, elle laisse dégager une grande quantité d'eau. Thomson (1) a remarqué que la tourbe d'Ecosse, exposée à 119 degrés de Réaumur, perdait $\frac{1}{4}$ de son poids.

La tourbe, exposée à une température de 220 à 280 degrés de Réaumur, se carbonise; elle exhale une odeur semblable à celle qu'elle répand lorsqu'elle brûle.

Cinq Analyses de la tourbe ont donné, d'après

Messieurs:	SUBSTANCES VAPORISABLES.	CARBONE.	CENDRE.
Muschet (2)	.....0,726.....	.....0,252.....	.....0,022.
	.....0,728.....	.....0,151.....	.....0,121.
Thomson (3)	.....0,750.....	.....0,240.....	.....0,017.
Marcher (4)	.....0,220.....	.....0,650.....	.....0,130.
	.....0,480.....	.....0,370.....	.....0,150.

Ainsi la tourbe sèche contient entre le $\frac{1}{4}$ et les $\frac{3}{4}$ de substance vaporisable, et le charbon de tourbe retient de 0,04 à 0,44 de cendre.

Le charbon de tourbe est très-avide d'eau; il l'attire puissamment de l'atmosphère. Le carbone y est dans un état propre à agir fortement sur

(1) Bibliothèque Britannique, tome 36, page 130.

(2) Journal des Arts et Manufactures, tome 6, page 130.

(3) Système des Connaissances chimiques, sect. 7, ordre 5, art. 8, §. 2.

(4) Beytrage zur Eisen-hütten-kunde, 6e volume, pages 219 et 220.

ce fluide, et à le décomposer. Fourcroy (1) rapporte qu'il a vu un chantier rempli de charbon de tourbe, prendre feu naturellement après quelques jours d'exposition à la pluie.

306. Il était facile de conclure que la tourbe sèche, qui est susceptible de retenir les $\frac{3}{4}$ de son poids de matières vaporisables, était incapable de produire une chaleur assez forte pour fondre les minérais de fer, quelle que fût la quantité que l'on pût réunir dans un foyer; parce que la vaporisation se produisant aux dépends d'une grande portion de calorique, il était trop difficile d'en accumuler, dans un petit espace, une assez grande quantité pour élever la température au degré nécessaire.

Mais le charbon de tourbe, qui est débarrassé de la plus grande partie des substances vaporisables contenues dans le combustible sec, devait présenter l'espérance de quelques succès. Cependant, en observant la nature de ce charbon, en comparant son excessive combustibilité (qui le place dans un rang beaucoup inférieur aux charbons trop brûlés) à celle de la braise, il était facile d'apercevoir que l'on éprouverait au moins une grande difficulté, pour ne pas dire une sorte d'impossibilité, à l'employer à la fusion des minérais de fer.

307. Lampadius, professeur de métallurgie à Freyberg, en Saxe, a fait, à Radnitz (2), chez le comte de Sternberg, des essais sur la fusion des minérais de fer, en mêlant une partie de tourbe sèche avec quatre parties de charbon de bois. Il annonce, dans le Recueil de ses Opuscules chimiques, « qu'il fut enchanté de l'heureux succès qu'il obtint avec de « la tourbe crue, que la fonte qui en provenait avait une cassure grise « à grains fins, et qu'elle donnait un très-bon fer en barres. »

Ce chimiste, en parlant de la tourbe employée comme combustible, dit, dans son Manuel de Métallurgie : « Les charbons de tourbe qui « contiennent peu de terre, sont les seuls que l'on puisse employer à la « fonte de tous les minérais dans les hauts fourneaux, soit *seuls*, soit

---

(1) Système des Connaissances chimiques, sect. 7, ordre 5, art. 8, §. 2, t. 8, p. 233.

(2) Journal des Mines, 15e volume, pages 104 et suivantes.

« mélangés avec du charbon de bois. L'exemple de *Wernigerode*, au « Hartz, où l'on a fait un fondage avec du charbon de tourbe seule« ment, prouve que ce combustible est capable de donner beaucoup de « chaleur. »

M. le comte de Sternberg, chez qui les expériences de Lampadius ont été faites, écrivit à ce sujet à M. Wagner, « que l'essai avec de la « tourbe n'eut point un heureux succès, à aucun égard. Lorsque l'on « employa ce combustible, on ne fit nullement attention si la charge de « charbon n'était pas trop considérable, proportionnellement à celle du « minérai; on se contenta seulement d'ajouter, provisoirement, 10 liv. « de tourbe à la charge de charbon de sapin, qui était de 260 livres;... « enfin, après un grand nombre d'essais, il paraît que, lorsque le char« bon était en quantité superflue, on pouvait ajouter de la tourbe sans « nuire au travail; mais il n'en résultait aucun avantage : ainsi on em« ploya à amender les terrains argileux, la tourbe dont on avait fait « provision. »

M. Wagner, directeur des mines et usines, en Bavière, a publié (1) les essais qui ont été faits dans la fonderie de Bergen, pour substituer de la tourbe, ou du charbon de tourbe, en tout ou en partie, au charbon de bois que l'on y brûle ordinairement. Ces expériences ont été commencées par le directeur qui l'a précédé; elles ont été continuées par une commission, et finies par lui. La conclusion à laquelle ils sont arrivés est celle-ci : « Les essais de Bergen ont été faits en grand, avec « toute la précision possible; ils ont été variés. On peut y avoir con« fiance. Ils semblent indiquer, il est vrai, *qu'il est très-vraisemblable* « *que la tourbe crue ne peut pas servir à la fonte des minérais de fer;* « cependant je ne donne pas cette conséquence comme une décision po« sitive.

« Quant à ce que quelques auteurs, tels que *Datzl, Reuss, Lampa-* « *dius,* ont écrit sur l'avantage dont la tourbe peut être susceptible dans

(1) Journal des Mines, 14[e] volume, pages 194 et 302.

« les hauts fourneaux, je dois le dire, cela me paraît bien peu décisif; « et, ce que ces écrivains rapportent à ce sujet, me semble souvent « contradictoire. »

Dans une lettre, publiée dans les Annales des Mines du baron de Moll, traduite en français par l'ingénieur Daubuisson (1), et imprimée ensuite dans le Journal des Mines de France; M[r] E. G. S., métallurgiste aussi habile que distingué, rapporte des essais qui ont été faits en Tyrol avec une grande précision. Sa lettre se termine ainsi : « Pendant que j'étais occupé dans la fonderie à ces essais, qui m'avaient « fait voir que la tourbe employée dans les hauts fourneaux ne peut rem- « placer le charbon de bois, et augmenter le produit, on travaillait aux « forges à affiner la fonte provenant de nos essais, et l'on tenait une « note exacte de tout ce qui se passait pendant cette opération. » J'en donnerai ailleurs les détails.

Enfin, à la suite du tableau qui indique les résultats de cet affinage, on observe que la conclusion de ces essais est telle, que l'emploi de la tourbe carbonisée n'a produit aucune épargne dans la quantité de charbon de bois que l'on a employé conjointement avec elle, qu'il a diminué la quantité de fer obtenu, et qu'il en a altéré la qualité. Les effets de la tourbe crue ont été encore plus sensiblement désavantageux à tous égards (2).

Quant à l'exemple de *Wernigerode,* cité par Lampadius, M. Wagner observe (3) « qu'il n'est pas aussi concluant qu'on pourrait le croire en « faveur de l'usage de la tourbe carbonisée. On sait que ce combustible « ne produisant pas l'effet qu'on s'en était promis, dans les hauts four- « neaux, on ne l'employa plus que pour affiner le fer, ensuite même ce

(1) Journal des Mines, 15[e] volume, pages 186 et suivantes.

(2) Il était facile de prévoir que le charbon de tourbe devait altérer le fer que l'on affinerait avec ce combustible, parce que l'on savait, par les analyses exactes qui avaient été faites de cette substance, qu'il existait peu de variétés qui ne continssent du soufre et du phosphore, soit à l'état d'acide, soit autrement.

(3) Journal des Mines, 15[e] volume, pages 109 et suivantes.

« ne fut que pour l'étirer en barres; et enfin, voyant que son usage en-« traînait à de plus grandes dépenses, au lieu de produire une plus « grande économie, on le cessa entièrement. »

Tous les essais faits sur l'emploi, sur l'usage de la tourbe pour traiter les minérais de fer, ainsi que les discussions que ces essais ont fait naître, semblent prouver que ce combustible ne peut être employé en aucune manière pour fondre ce métal; cependant, ce serait mettre trop de précipitation dans son jugement, et peut-être même nuire au travail du fer, que d'adopter cette conclusion. Avant qu'on ne fût parvenu, en Angleterre, à faire usage du charbon de houille pour fondre les minérais de fer, les maîtres de forge étaient persuadés qu'il ne pouvait pas être employé avantageusement à cet usage. Swedemborg (1) doutait que « cette terre combustible pût être utile dans les fourneaux qui de-« mandent un feu violent, capable de dompter les métaux qui y sont « exposés à nu, et de les mettre en fusion; » et même, lorsque les Anglais en eurent adopté l'usage presque exclusif, on fit long-temps de nombreux essais en Europe, sur le Continent, avant de se décider à l'employer; et quoique aujourd'hui, dans plusieurs usines de France et d'Allemagne, la houille remplace le charbon de bois avec beaucoup de succès, cependant un grand nombre de maîtres de forge doutent encore de son avantage. Cet exemple doit donc nous apprendre à suspendre notre jugement, et nous déterminer à attendre.

DE LA HOUILLE.

308. On appelle *houille,* ou charbon de terre, un combustible fossile que l'on trouve en couches ou en nids dans les terrains secondaires. Ce combustible contient du carbone, de l'eau, de l'huile empyreumatique mêlée de goudron et d'ammoniac, de terres, et par accident d'acides, de substances métalliques : quelques houilles sont mélangées de pyrites de fer.

---

(1) Art des forges, 4[e] section, §. 22.

Sa densité varie entre 12 et 16, celle de l'eau étant 10.

On a analysé des houilles, et l'on a reconnu qu'il existait de grandes différences entre elles. Lorsqu'on les expose à l'action du feu, dans des vaisseaux fermés, un grand nombre de ces combustibles diminuent de poids, et cette diminution est quelquefois de 0,50 à 0,60; d'autres, au contraire, ne présentent aucune diminution sensible.

Un charbon de terre de Decize, exposé à l'action du feu dans une cornue, a donné à Sage un résidu charbonneux de 0,60 (1).

Berthollet a obtenu, d'une houille des Cevennes, 0,77 (2) de résidu, en la distillant de la même manière.

Nous avons analysé plusieurs houilles de France, qui ont produit de 0,11 à 0,80 de charbon, de 0,10 à 0,40 de matières vaporisables, de 0,11 à 0,45 de cendre.

Des houilles d'Angleterre, analysées par Kirwan, ont produit de 0,57 à 0,75 de charbon, de 0,22 à 0,41 de matières vaporisables, et de 0,10 à 0,50 de cendre.

Plusieurs houilles du même pays, avec le charbon desquelles on traite le minérai de fer, ayant été analysées par divers savants (3), ont produit de 0,36 à 0,55 de charbon, de 0,42 à 0,51 de substances vaporisables, et de 0,02 à 0,12 de cendre.

Les houilles d'Italie, analysées par Fabroni (4), ont donné de 0,25 à 0,60 de charbon, de 0,12 à 0,75 de substances vaporisables, et de 0,03 à 0,33 de cendre.

Proust, en analysant les houilles d'Espagne (5), a obtenu de 0,64 à 0,75 de charbon, de 0,20 à 0,40 de substances vaporisables, et de 0,02 0,07 de cendre.

En général, on peut conclure de toutes les analyses de houilles qui

---

(1) Journal de Physique, année 1806, tome 2, page 320.

(2) *Idem.*

(3) Annales des Arts et Manufactures, tome 9, page 121.

(4) Marcher, 6e volume, page 303.

(5) Journal de Physique, année 1806, tome 2, page 320.

ont été faites jusqu'à présent, que celles qui sont employées à la fusion des minérais de fer, contiennent de 0,35 à 0,80 de partie charbonneuse, et de 0,20 à 0,50 de matière vaporisable, et de 0,01 à 0,16 de cendre.

309. Les houilles, telles qu'elles sortent du sein de la terre, sont susceptibles de se combiner avec des quantités d'eau plus ou moins considérables. Des expériences, faites (1) par les ingénieurs Duhamel et Blavier, leur ont prouvé que le pied cube de houille sèche pesait entre 85 et 97 livres, et l'hectolitre, entre 117 et 146 kilogrammes; qu'en le mouillant, ce combustible augmentait de poids et de volume, que l'on pouvait faire entrer de 36 à 52 kilogrammes d'eau par hectolitre de houille sèche; enfin, que la quantité qui peut être ajoutée à la houille est toujours en raison directe de sa trituration, et en raison inverse de sa pesanteur spécifique.

310. Il existe plusieurs variétés de houilles; Haüy en distingue quatre: *feuilletée, bacillaire, compacte, papyracée* (2). M. Voigt divise les combustibles, que l'on confond ordinairement sous le nom de houille, en deux espèces : houille, et bois bitumineux (3); il sous-divise les houilles, proprement dites, en cinq sous-espèces : *houille schisteuse, houille semblable à de la suie, schiste imprégné de houille, houille feuilletée*, et *houille limoneuse;* il sous-divise également les bois bitumineux en huit sous-espèces : 1° *bois bitumineux;* 2° *jayet;* 3° *connel-coal,* des Anglais; 4° *charbon fossile brun;* 5° *terre végétale bitumineuse, brune;* 6° *terre végétale bitumineuse, grise;* 7° *charbon fossile en barres;* 8° *charbon éclatant*. Nous avons cru, pour simplifier la division, ne devoir former que trois espèces, des houilles dont on fait usage: *houille sèche, houille maigre, houille grasse.*

On appelle *houille seche,* celle qui ne donne que peu ou point de produit par la distillation. Cette espèce de houille brûle avec une si

---

(1) Journal des Mines, tome 11, pages 407 et suivantes.

(2) Tableau comparatif, etc., page 71.

(3) Journal des Mines, n° 157, page 13.

grande difficulté, que plusieurs minéralogistes l'avaient regardée comme incombustible. Dolomieu lui avait en conséquence donné le nom d'*anthracite,* pour la distinguer. On la trouve ordinairement dans les terrains primitifs; et, malgré l'opinion du savant géologue qui l'a nommée, on l'extrait avec soin partout où l'on en trouve, et on l'emploie, soit à la forge des maréchaux, soit à la calcination de la chaux. Ces deux observations auraient suffi pour ne pas lui ôter le nom de houille, et pour ne pas lui en substituer un nouveau, que l'usage contrarie.

On appelle *houille maigre,* celle qui brûle tranquillement au feu sans y augmenter sensiblement de volume. Ce combustible, peu estimé, se rencontre le plus souvent dans les montagnes calcaires. Il brûle très-bien, donne du bitume et des gaz par la distillation; mais le charbon que l'on en obtient conserve la forme et le volume de la houille primitive.

On appelle *houille grasse,* celle qui augmente de volume en brûlant, et dont les parties divisées se réunissent, se collent ensemble. Elle se trouve ordinairement entre des couches de grès. C'est la houille la plus estimée, soit pour être employée directement, soit pour être carbonisée. Elle produit un charbon spongieux qu'on emploie avec beaucoup de succès dans la fabrication du fer.

Ces trois espèces de houilles, analysées comparativement à l'Ecole-pratique des Mines de Moutiers, ont donné les résultats suivants :

ESPÈCE DE HOUILLE.	GISSEMENTS.	EAU, HUILE ET GAZ.	CARBONE.	OXIDE DE FER.	SILICE.	CHAUX.	PYRITE.
Sèche..	Champany...	.0, 020.	.0, 592.	.0, 147.	.0, 076.	....	.0, 216.
Maigre.	Entrevernes.	.0, 395.	.0, 478.	.0, 069.	....	.0, 051.	....
Grasse..	Rivedegier..	.0, 410.	.0, 620.	.0, 022.	.0, 015.	....	....

Sept houilles sèches, analysées par plusieurs savants, ont produit:

GISSEMENTS.	SUBSTANCE VAPORIS.	CARBONE.	OXIDE DE FER.	SILICE.	CHAUX.	ALUMINE.	ANALYSÉES PAR
....	....	.0, 840.	.0, 004.	.0, 130.	.0, 010.	.0, 011.	Wergleb.
....	....	.0, 900.	.0, 030.	.0, .02.	....	.0, .05.	Panzerberg.
....	....	.0, 900.	.0, 102.	.0, .04.	....	.0, .04.	Panzerberg.
Tarentaise. .	.0, 08..	.0, 720.	.0, 104.	.0, .13.	....	.0, .03.	Dolomieu.
de Kilkenie..	....	.0, 963.	.............0, 037.............				Kirwan.
....	....	.0, 933.	.............0, 0306...........				Klaporth.
....	....	.0, 837.	.............0, 163.............				Wigleb.

La houille crue n'est ordinairement employée, dans le travail du fer, que lorsque ce métal est traité au fourneau de réverbère; mais l'on ne doit faire usage, dans cette opération, que de la houille grasse qui produit une belle flamme; cependant on peut aussi, dans le besoin, se servir de houille maigre au fourneau de réverbère; mais il faut en exclure la houille sèche, qui donne rarement de la flamme, si ce n'est lorsqu'elle est activée par de forts courants d'air. C'est toujours sous l'état de charbon, nommé *coak* par les Anglais, que la houille est employée dans les hauts fourneaux.

DU CHARBON DE HOUILLE.

311. La houille se carbonise comme le bois. On peut consulter, sur cet objet, l'article *pyrurgie*, décrit dans la première partie de ce Traité de Minéralurgie, pour acquérir des connaissances sur les opérations qu'elle subit et sur les procédés à l'aide desquels on la carbonise.

Le charbon obtenu de la houille est divisé en trois espèces : *lourd*, *fort*, ou *léger*, selon la nature du combustible qui le produit; et il éprouve, pour se brûler, une difficulté d'autant plus grande, qu'il est plus

dense, que le carbone est plus concentré. Assez généralement l'effet qu'il produit est proportionnel à la quantité de carbone qu'il contient : le charbon de houille, lorsqu'on le brûle, laisse des quantités de cendres plus ou moins considérables, qui varient entre 0,04 et 0,40.

La nature des terres et des oxides métalliques qui composent les cendres, leurs proportions par rapport aux charbons, ne sont pas indifférentes. Ces substances, lorsque les proportions sont considérables, augmentent la masse des verres terreux, des laitiers, et nuisent à la fusion ou la favorisent, selon que, par leur mélange avec les terres de la gangue, elles les rendent plus réfractaires ou plus fusibles.

Il est donc utile, nécessaire, essentiel même, de connaître la quantité et les composants de la cendre que produit le charbon de houille que l'on emploie, afin de préférer, entre tous les minérais que l'on a à sa disposition, ceux dont la fusion de la gangue est favorisée par la cendre, ou pour déterminer la nature des fondants qu'il faut y ajouter.

312. De tous les charbons de houille, celui que l'on doit préférer doit être lamelleux ou strié, léger et d'un gris-argentin.

Comme les charbons de bois, ceux de houille exposés à l'air, absorbent de l'humidité. Mushet (1) dit que leur poids augmente de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire, de 12 à 50 par 100 de charbon : il paraît même qu'ils sont susceptibles de détérioration, quoiqu'à un moindre degré que les charbons de bois.

Il faut que le charbon que l'on emploie soit fraîchement et bien carbonisé : celui qui n'est pas assez calciné retient encore des substances vaporisables qu'il faut dégager ; ceux qui ne sont pas fraîchement carbonisés contiennent de l'eau et des gaz qu'il faut également vaporiser ; et pour produire ces vaporisations, il faut employer une partie du calorique qui se dégage par la combustion, ce qui diminue la température du fourneau, et lui fait produire de la fonte blanche.

---

(1) Annales des Arts et Manufactures, 6e volume, pages 116 et suivantes.

Des Effets comparés, entre les charbons de bois et de houille, dans la fonte des minérais de fer.

313. Les charbons employés pour fondre les minérais de fer produisent ordinairement trois effets : 1° ils désoxident le minérai ; 2° ils le fondent ; 3° ils se combinent en partie avec le fer pour produire de la fonte grise.

Les charbons de bois sont légers, faciles à brûler ; ou durs, compactes, et brûlent plus difficilement.

Les charbons de houille sont tous durs, compactes et difficiles à brûler ; il en est même, comme ceux de houille sèche, qui ne se brûlent qu'avec une très-grande difficulté.

Si l'on rangeait les charbons, relativement à leur combustibilité, on placerait, à la tête de la série, le charbon de bois tendre, ensuite celui de bois dur, puis celui de houille grasse, de houille maigre, et l'on terminerait par celui de houille sèche.

314. Lorsque les particules de carbone, dans les charbons, ont peu d'adhésion, ou qu'il se trouve, dans les fragments du combustible, des intervalles à travers lesquels l'air peut pénétrer, ces charbons sont légers et brûlent très-bien ; le carbone se combine facilement avec l'oxigène, et sur de plus grandes surfaces, et il enlève promptement cette substance aux oxides métalliques.

Ainsi, en ne considèrant les charbons que relativement à la désoxidation des minérais, on voit d'abord que l'on doit préférer ceux de bois tendre, et que les autres doivent être employés successivement, et dans leur ordre de combustibilité, lorsqu'on ne peut se procurer une assez grande quantité des premiers.

Mais si l'on veut déterminer le choix entre les charbons, par rapport à la température que l'on doit en obtenir, il semble, au premier instant, que l'on doit préférer des charbons compactes, et qui contiennent beaucoup de carbone sous un petit volume, à des charbons légers et dans lesquels le carbone est disséminé.

Plus il y a de carbone réuni dans un espace donné, plus il peut se dégager de calorique, si l'on introduit assez d'oxigène pour qu'il se com-

bine avec lui; mais plus le carbone est condensé, plus les charbons sont compactes, plus on peut accumuler de carbone dans un espace donné; d'où il paraît suivre que les charbons compactes, (ceux qui contiennent leur carbone très-condensé), doivent être les plus propres à élever la température des fourneaux, et que, sous ce rapport, les charbons de houille doivent être préférés aux charbons de bois; enfin, que parmi les premiers, le meilleur serait le charbon de houille sèche, puisque c'est celui qui contient le plus de carbone dans un volume donné.

Ce résultat serait vrai, si, à masse égale, dans un espace déterminé, il se brûlait la même quantité de carbone dans un temps donné; mais nous avons vu que les charbons légers étaient plus *combustibles* que les durs, c'est-à-dire, qu'ils se combinaient plus rapidement avec l'oxigène, et que, dans un temps donné, il s'en brûlait davantage: cela tient à ce que, dans les charbons durs, compactes, il n'existe de combustion qu'à la surface, et que dans les charbons légers et poreux, l'air qui passe à travers chaque fragment détermine une plus grande surface de combustion; de-là, une plus grande quantité de carbone brûlé, et une plus grande quantité de chaleur dégagée.

Il suit donc de-là, que la température du milieu doit se composer de deux éléments différents, 1° de la combustibilité des charbons; 2° de leur compacité. Mais ces deux éléments ont deux marches opposées; car, plus les charbons sont combustibles, plus ils sont légers, et moins ils réunissent de carbone dans un espace donné; et plus les charbons sont compactes, plus ils réunissent de carbone dans un espace donné; moins ils sont combustibles, moins il se combine de leur carbone avec de l'oxigène dans un temps donné. Or, comme c'est de la combinaison de ces deux effets que se compose la température, il s'en suit que ce sont les charbons dont le produit de la combustibilité par celui de la compacité donne le plus grand résultat, qui doivent élever la température au plus haut degré. L'expérience prouve que les charbons qui donnent la plus grande chaleur sont ceux de bois durs, particulièrement les charbons de chêne et de hêtre, et que, à partir de ces bois, les autres, soit au-dessus, c'est-à-dire, les plus denses, comme ceux de houille

grasse; soit au-dessous, les plus légers, comme ceux des bois tendres, produisent une moindre température.

Ainsi, par rapport à la fusion du fer, le charbon que l'on doit préférer est celui de bois dur, et les autres, plus durs ou plus tendres, ne doivent être employés qu'en remplacement de ce premier, s'il n'est pas assez abondant, ou lorsque, par son prix, il ne présente pas assez d'économie.

315. Pour désoxider le minérai, il faut qu'il reste un temps plus ou moins long en contact avec le combustible : cette durée dépend de la nature du charbon et de la division du minérai. Plus le charbon est dur, plus la durée du contact doit être longue; plus le charbon est tendre, plus elle doit être courte; mais on peut augmenter ou diminuer cette durée par la hauteur du fourneau. Dans les fourneaux très-bas, la charge peut, en quelques heures, arriver aux étalages où le minérai se fond; dans des fourneaux très-élevés, la charge n'arrive au foyer supérieur qu'après quelques jours. On doit donc donner aux fourneaux une hauteur dépendante de la dureté et de la combustibilité du charbon; aussi la plupart des fourneaux, dans lesquels on fond le minérai avec le charbon de bois, si l'on en excepte quelques fourneaux de Sybérie, n'ont que 16 à 30 pieds de hauteur, tandis que tous ceux à charbon de houille ont de 35 à 60 pieds.

On peut désoxider les minérais dans des fourneaux moins hauts, en augmentant la proportion du charbon, ou en diminuant la quantité d'air; mais ces deux modes, lorsqu'ils sortent des bonnes proportions, sont défectueux; ils occasionnent de trop grandes dépenses.

316. La fonte que l'on obtient, soit avec des charbons de bois, soit avec des charbons de houille, participe de la nature du minérai et de celle du charbon. On a vu qu'en fondant du minérai de bonne qualité, quelques charbons de bois le rendaient défectueux. Quant au charbon de houille, la fonte qu'il produit est ordinairement très-carburée à cause de la haute température qu'elle éprouve, et du temps que ce minérai reste en contact avec le charbon. Cette fonte est noire, et si le fer que l'on en obtient n'est pas bien purifié, si l'on ne parvient pas à en ex-

traire tout le charbon qu'il contient, souvent il devient cassant à froid, et brisant à chaud.

La difficulté que présente la fonte trop carburée pour être purifiée et convertie en fer, ainsi que les défauts d'être brisant à chaud et cassant à froid, que ces fers paraissent contracter, lorsqu'ils ont été obtenus avec de la houille, a fait pendant long-temps destiner cette espèce de fonte à la fabrication de la poterie, et à celle de tous les objets coulés en fonte moulée; elle a même, par sa surcharge de carbone, un grand avantage sur les autres, ce qui la fait préférer dans un grand nombre de circonstances : elle est douce et résistante; elle peut être travaillée à la lime et au marteau; elle est donc beaucoup plus précieuse pour couler des canons de fonte de fer qui doivent jouir de ces propriétés.

On est parvenu en Angleterre, en Allemagne et en France, à vaincre la difficulté que l'on éprouvait à affiner la fonte trop carburée et à en expulser le carbone qu'elle contient. L'on traite aujourd'hui cette fonte avec beaucoup de succès dans plusieurs affineries, en y employant même de la houille. Nous décrirons les procédés que l'on suit pour cet objet, en parlant du travail du fer.

317. La mauvaise qualité que présentent la plupart des fers provenant des fontes obtenues avec de la houille, a déterminé plusieurs métallurgistes à essayer de fondre les minérais de fer avec ce combustible, en évitant de les tenir en contact avec de la houille, soit pendant la désoxidation des minérais, soit pendant leur fusion. Parmi les tentatives qui ont été faites, celles que monsieur le comte de Sternberg dit avoir entreprises (1) avec un fourneau conique, placé sur deux fourneaux de réverbère (n° 33, pl. 22), paraissent devoir présenter les plus heureux succès. Le cône, ou la cheminée conique placée au-dessus des deux fourneaux de réverbère, s'emplit avec un mélange de minérai et de charbon de bois; la flamme qui se dégage des foyers des deux fourneaux, arrive dans la cheminée après avoir parcouru le petit espace qui

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 8, page 28.

les en sépare. Ces flammes produisent deux effets : elles échauffent le minérai et le charbon de bois ; elles enflamment ce dernier, et entretiennent la combustion par l'oxigène resté dans l'air qu'elles entraînent avec elles : ainsi, l'oxide de fer est échauffé à-la-fois par la flamme des foyers des deux fourneaux de réverbère, et par la combustion du charbon de bois avec lequel il est en contact : ces deux chaleurs élèvent la température à un degré propre à la fusion, en même temps que, par leur contact avec les charbons de bois, et par les gaz carbonés qui les traversent, les minérais se désoxident.

Plusieurs minéralurgistes ont proposé de fondre le minérai dans des fourneaux de réverbère : il faut, pour cela, le pulvériser quand il est grillé, le mélanger avec de la poussière de charbon de bois, et l'exposer ainsi, dans un fourneau de réverbère, à l'action de la chaleur qui se dégage du foyer. Nous ne savons pas si ce procédé a encore obtenu un assez grand succès pour pouvoir être généralement proposé. Nous ferons connaître, par la suite, les tentatives qui ont été faites pour obtenir ainsi la réduction des oxides et la fusion du métal.

318. Les charbons de bois sont employés en diverses proportions pour fondre les minérais de fer; ces proportions varient : 1° avec la fusibilité des oxides et des terres; 2° avec la combustibilité et la compacité du charbon; 3° avec les proportions des fourneaux; 4° avec le mode de travail que l'on suit; 5° relativement aux différentes fontes blanches ou grises que l'on veut obtenir. En Styrie, et en Carinthie, on obtient 100 parties de fonte avec des quantités de charbon de bois qui varient entre 66 et 290; la moyenne, sur 50 fourneaux, est de 150. En Sybérie où les bois sont très-communs, la quantité de charbon brûlé, par 100 parties de fonte, varie entre 115 et 356; la moyenne de douze fourneaux est de 206; en Bohême, la proportion de charbon est de 188; en Hongrie, de 340 à 549, et 430 pour la moyenne de cinq fourneaux; en Suède, la moyenne de deux fourneaux est de 127; en Saxe, la moyenne de trois fourneaux est de 169; dans la Hesse, 168; en Alsace, la moyenne de trente-quatre fourneaux est de 156; en France, dans le

département du Cher (1), la moyenne de quatorze fourneaux est de 150 ; ce qui donnerait, pour moyenne totale, 162 parties de charbon de bois pour en obtenir 100 de fonte de fer.

319. La quantité de charbon de houille nécessaire à l'obtention de la fonte des différents minérais varie comme celle des charbons de bois, soit par la fusibilité des mines, soit par la combustibilité et la quantité de carbone contenue dans chaque charbon, soit par les proportions des fourneaux, soit par l'espèce de fonte que l'on veut obtenir.

Mushet (2), après avoir divisé les charbons de houille en trois espèces, 1° de houille produisant 0,620 de charbon, contenant 0,027 de cendres; 2° houille collante produisant 0,500 de charbon, contenant 0,042 de cendres; 3° houille légère produisant 0,380 de charbon, contenant 0,033 de cendres; annonce que, pour obtenir 1000 parties de fonte avec le même minérai, dans le même fourneau, il faut, 1° 2056 parties de charbon de houille de premiere qualité, provenant de 3330 de houille crue, contenant 1964 parties de carbone; 2° 2442 parties de charbon de la seconde qualité, provenant de 4884 de houille, et contenant 2237 de carbone; 3° 2953 parties de charbon de la troisième qualité, provenant de 7771 de houille, et contenant 2723 parties de carbone. Ainsi, d'après Mushet, la quantité moyenne de charbon de houille que l'on consumerait en Angleterre, pour obtenir 100 parties de fonte, serait de 250; elle serait fournie par 533 parties de houille, et elle en contiendrait 231 de carbone.

Au Creusot, près Moncenis, département de Saône-et-Loire, 100 parties de fonte sont obtenues avec 300 de charbon de houille, qui équivalent à 600 parties de houille.

A Gleiwitz (3), dans la Haute-Silésie, 100 parties de fonte sont obtenues avec 243 de charbon de houille, correspondant à 500 parties de houille environ.

(1) Journal des Mines, n° 154, pages 241 et suivantes.

(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 6, page 116.

(3) Journal des Mines, tome 14, page 154.

A Glamorgau, d'après l'ingénieur en chef Bonnard (1), on obtient 100 parties de fonte avec 263 parties de charbon de houille, ou 523 de houille.

On peut donc, d'après le peu de données que l'on a, porter à 260 parties de charbon de houille par 100 de fonte, la quantité moyenne pour fondre les minérais de fer, et la quantité de houille à 530 parties.

320. La proportion moyenne de charbon de bois nécessaire pour obtenir 100 parties de fonte, est de 162; celle de charbon de houille est de 260; ainsi, la quantité de charbon de houille qu'il faut employer pour fondre le minérai de fer, est plus considérable que celle du charbon de bois, et, cela, dans le rapport de 260 à 162, ou de 100 à 62; mais la quantité moyenne de houille, avec laquelle on peut obtenir 100 parties de fonte, est de 530; la quantité moyenne de bois, (en partant de ce résultat moyen de la carbonisation, que 5 parties de bois en produisent une de charbon), est de 810. D'où il suit que le rapport de la houille au bois brûlé, pour obtenir une même quantité de fonte, est :: 530 : 810, ou :: 53 : 81, ou :: 100 : 152 environ.

Il suit, de ces rapports, qu'il faut plus de charbon de houille que de charbon de bois pour fondre le minérai de fer; mais, en même temps, qu'il faut plus de bois que de houille pour produire la quantité de charbon nécessaire dans chaque circonstance.

321. Dans les pays couverts de bois, où ce combustible est perdu, dans les pays peu habités où les bois ont peu de valeur, il est précieux d'établir des hauts fourneaux dans les forêts pour consumer ce végétal; et dans ces pays peu cultivés, comme dans le nord de l'Europe, en Suède, en Sybérie, etc., dans plusieurs contrées d'Allemagne, dans quelques parties montagneuses et boisées de la France, il est bon, utile, et même nécessaire de fondre le minérai de fer avec du charbon de bois; mais dans les pays très-populeux, où ce combustible a d'autres

(1) Journal des Mines, tome 17, page 245.

destinations, lorsque sa valeur y est à un tel prix que, loin d'y avoir de l'avantage, il y aurait de la perte à l'employer dans la fusion des minérais de fer, alors il faut faire usage du charbon de houille.

La question de la préférence que l'on doit donner au bois ou à la houille, pour le traitement du fer, peut être envisagée sous plusieurs aspects, et présenter des solutions incomplètes, selon les différents points de vue sous lesquels elle peut être considérée.

La houille existe en quantité déterminée dans chaque pays. Toute celle qui est sortie du sein de la terre, et qui est consumée par les générations passées et présentes, est autant de diminué pour les générations à venir. Si le sol d'un pays était constamment couvert d'habitants; si quelques catastrophes ne les transportaient pas ailleurs, et si l'on continuait à y extraire de la houille, on parviendrait, après un nombre d'années plus ou moins grand, à détruire tout ce qui en existe, et à en faire disparaître jusqu'aux dernières traces.

Le bois végète, croît, meurt et se renouvelle. Quelle qu'en soit la consommation actuelle, les générations suivantes peuvent en avoir de nouveaux, qu'elles consumeront comme celles qui leur succéderont. Les bois dureront autant que le sol, le climat, et les météores permettront leur végétation : sous ce rapport, point de doute que l'usage du bois ne doive être préféré. Mais ne doit-il pas exister un rapport entre les parties du sol cultivées en bois et celles qui le sont en d'autres substances? Ce rapport permet-il, sans nuire aux autres besoins, de fabriquer le fer avec du charbon de bois? C'est une autre question que l'on ne peut résoudre qu'après l'avoir long-temps méditée.

Un gouvernement doit, dans l'examen de cette question, considérer le bien général de tous les gouvernés, et favoriser l'un ou l'autre usage, selon qu'il en résultera un plus grand avantage pour tous.

Un particulier ne considère jamais, dans la solution de cette question, que son avantage séparé et isolé de celui des autres : s'il existe pour lui du bénéfice à employer du bois à la fabrication du fer; si le bénéfice est plus considérable que celui qu'il obtiendrait en employant de la houille, il n'hésitera jamais, s'il est assez instruit, excepté dans

un cas qui se rencontre assez fréquemment, celui où il aurait toujours fondu le minérai avec du charbon de bois : le plus souvent, dans cette circonstance, c'est l'habitude, c'est l'imitation de ce qui a toujours été fait qui le détermine.

C'est au gouvernement à éclairer les particuliers sur leurs vrais intérêts, lorsqu'ils sont en rapport avec ceux de tous, et à les mettre à même, en leur présentant de bons exemples, et en formant des ouvriers, de ne pas être exposés à faire de longs et de coûteux apprentissages qui compromettent leur fortune, les dégoutent, et nuisent toujours aux progrès des changements utiles aux particuliers et au gouvernement, lorsque ces changements peuvent et doivent être introduits dans différentes branches d'industrie.

La question de la préférence à donner à l'usage de la houille ou du bois, dans un petit gouvernement dont les habitants couvrent un espace de terrain peu considérable, peut être résolue d'une manière générale; mais il est difficile, chez une nation nombreuse dont les habitants couvrent une grande étendue de pays, que la solution de cette question ne varie pas avec les localités. C'est donc aux lumières et à la sagesse d'un bon gouvernement, dirigé par des hommes éclairés qui ne veulent que le bien des gouvernés, qu'il faut laisser décider cette question, qui ne peut l'être que selon les lieux et les circonstances.

DE LA COMBUSTION ET DES MACHINES DONT ON FAIT USAGE POUR LA DÉTERMINER.

322. Le combustible, à l'aide duquel on fond les minérais de fer, ne produit de la chaleur qu'en se combinant avec l'oxigène de l'air atmosphérique : ainsi, la première condition pour élever, dans les fourneaux, la température nécessaire à la fusion des minérais, c'est d'y faire parvenir l'air, sans lequel la combustion ne peut avoir lieu. Cet article, qui a pour objet de faire connaître les moyens que l'on emploie pour fournir au combustible les gaz qui lui sont nécessaires pour faire dégager la chaleur dont on a besoin, sera divisé en six sections. Dans la première, on examinera quel effet produit l'air atmosphérique, quelle quantité on doit en fournir dans chaque fourneau, et quelle vîtesse on doit lui donner pour obtenir le meilleur effet; dans la seconde, on fera connaître la forme et la construction des diverses machines que l'on emploie; on indiquera, dans la troisième, comment on parvient à donner à l'air, lorsqu'il arrive dans le fourneau, une vîtesse uniforme et constante; conséquemment, on traitera des *régulateurs*. Pour estimer la quantité d'air lancé dans les fourneaux, il faut pouvoir calculer les produits des machines soufflantes; dans la quatrieme section, on fera connaître la manière d'y parvenir; dans la cinquième, on décrira les mouvements de ces machines, les forces motrices à l'aide desquelles on les fait mouvoir, et les différents mécanismes qu'on leur applique; enfin, dans la sixième, on comparera entre elles les diverses machines dont on se sert; on fera connaître les avantages et les inconvénients de chacune d'elles, et on mettra le lecteur à même de déterminer celle à laquelle on doit donner la préférence.

DE L'ACTION DE L'AIR ATMOSPHERIQUE.

323. La chaleur nécessaire pour fondre le minérai, et en séparer le fer cru, s'obtient par la combinaison du carbone avec de l'oxigène. Ces

deux substances réunies donnent naissance à une troisième, que l'on nomme *acide carbonique :* les molécules de celle-ci étant plus rapprochées, une partie du calorique qui les séparait se dégage, et produit l'augmentation de température que l'on veut obtenir.

D'après une expérience faite, en commun, par Lavoisier et Laplace (1), 100 parties de charbon, à zéro, se sont combinées avec 261 parties d'oxigène, à zéro (2); elles ont produit 361 parties de gaz acide carbonique, et ont dégagé une quantité de calorique qui a fait fondre 9937 parties de glaces à zéro. Cette quantité de chaleur aurait pu élever de zéro, à 60°, 9937 parties d'eau. On voit donc, d'après cette expérience, combien est grande la quantité de chaleur qui se dégage de la combinaison du charbon avec l'oxigène.

Comme c'est en combinant ces deux substances que l'on obtient le calorique qui est nécessaire à la fonte des minérais, nous allons discuter les moyens que l'on emploie pour obtenir la température que cette fusion exige.

324. L'air atmosphérique qui environne le globe terrestre est généralement composé de trois substances : de gaz azote, de gaz oxigène et de gaz acide carbonique, dont le rapport en volume est, d'après Humbolt et Gay-Lussac (3) :: 78 : 21 : 1. Cet air contient encore de l'eau et plusieurs autres substances, dont la proportion varie selon les lieux, la température, la pression et plusieurs autres circonstances; mais on en fait ordinairement abstraction dans l'analyse de l'air, parce qu'elles ne sont qu'accidentelles, et que les chimistes n'ont pas encore trouvé de moyens assez précis ni assez exacts pour les séparer; cependant, l'eau vaporisée dans l'air a une assez grande influence sur la quantité de chaleur produite dans la combustion, pour déranger la marche du

---

(1) Traité élémentaire de Chimie, 1re partie, page 68.

(2) D'après Saussure, Annales de Chimie, n° 187, page 56, cent parties d'acide carbonique en contiendraient 74 d'oxigène et 26 de carbone.

(3) Journal de Physique, année 1805, tome 1er, pages 129 et suivantes.

ESPÈCE DE GAZ.	CENT PIEDS CUBES PESENT.			CENT DÉCIMÈT. CUBES PESENT.
Air atmosphérique...	79496 grains..	8 liv. 628......	4221,1 gram...	123,15 gram.
Gaz azote...........	75051.....	8, 1435.....	4077,9.....	116,26.
Gaz oxigène.........	87600.....	9, 5051.....	4652,4.....	135,70.
Gaz acide carbonique.	119206.....	12, 935......	6329,8......	184,66.

Ainsi, dans cent pieds cubes d'air atmosphérique pesant 79494 grains, ou 4221 grammes, il y a 21 pieds cubes de gaz oxigène pesant 18396 grains, ou 1 livre 99607, ou mieux 9769 grammes.

325. Ces rapports étant connus, il paraîtrait facile d'apprécier la quantité d'air atmosphérique que l'on doit employer pour alimenter un haut fourneau, dont on a déterminé d'avance la consommation en charbon, et cela, en supposant que le gaz oxigène qu'il contient se combine en entier avec le charbon, pour former de l'acide carbonique; mais lorsque l'on réfléchit sur ce qui se passe dans les hauts fourneaux, ce n'est qu'avec beaucoup de difficulté qu'on parvient à résoudre ce problême, si facile en apparence. 100 parties pondérables de carbone, d'après les expériences de Saussure, se combinent avec 284 part., 6 d'oxigène pour former 384 part., 6 d'acide carbonique; mais 284 part., 6 de gaz oxigène forment un volume de 2994 pieds cubes, à la pression de 28 pouces de mercure, et à la température de 10°; et 2994 pieds cubes de gaz oxigène sont contenus dans 14258 pieds d'air atmosphérique. Ainsi, pour brûler complètement une livre de charbon, et en former de l'acide carbonique, il paraîtrait qu'il ne faudrait pas moins de 14258 pieds cubes d'air atmosphérique.

On a vu dans l'article précédent que la quantité de charbon de bois brûlé, pour obtenir 100 parties de fonte, variait entre 66 et 400 parties; la quantité moyenne, prise entre un grand nombre d'observations, est de 162 : il suivrait de-là, que la quantité d'air atmosphérique absolument nécessaire pour former de l'acide carbonique avec le charbon employé pour obtenir 100 livres de fonte, devrait être entre 9410,3 et 57032 pieds cubes, quantité moyenne 23098, en négligeant le poids de 0,01 à 0,04 de cendres que le charbon contient.

En supposant le fer, dans le minérai, oxidé au maximum, c'est-à-dire, à 45 d'oxigène pour cent de fer, ce serait pour 35 quintaux de fonte 15quint. 75 liv. d'oxigène combiné, lesquels auraient brûlé 5quint. 53 liv. de charbon; en supposant que la fonte en retienne 0,04 de son poids, ce qui est la proportion que l'on trouve dans la fonte grise, ce serait 140 liv. de plus; ainsi, le minérai n'aurait absorbé que 6quint. 93 de charbon : portons à 10 quintaux cette quantité, à cause de la poussière vaporisée, il resterait 4670 livres de charbon qui se seraient combinées avec l'oxigène de l'air atmosphérique; mais, d'après le rapport établi par Saussure, 26 parties de carbone prennent 74 d'oxigène; ainsi, les 4670 livres de charbon en auraient exigé 13291, il n'en est arrivé que 10166 : cette quantité est donc insuffisante pour réduire tout le carbone à l'état d'acide carbonique; cependant tout le charbon est brûlé. Comment s'opère cette combustion?

327. On a vu précédemment que le charbon contenait de l'eau qui, d'après Gay-Lussac et Humbolt (1), est composé de 8741 parties d'oxigène sur 1259 d'hydrogène. On sait encore que, d'après nos expériences et celles de Cruickshand, Berthollet, Clément-Désormes (2), Guyton, etc., l'oxigène peut se combiner avec le carbone en deux proportions différentes, qu'il produit deux composés distincts, l'un d'acide carbonique, contenant 0, 74 d'oxigène; le second, d'oxide de carbone, contenant 0, 48 de ce gaz; enfin, on sait de plus que le gaz hydrogène se combine avec le carbone pour former du gaz hydrogène carboné. De-là, il est aisé de se rendre compte de la grande quantité de carbone employée, en la comparant à la proportion d'oxigène contenue dans l'air atmosphérique qui est lancé dans les fourneaux : l'air, en entrant, se combine avec du carbone, et forme de l'acide carbonique; cet acide, en s'élevant, trouve des charbons incandescents, il se combine avec eux, et forme de l'oxide de carbone qui se dégage.

---

(1) Journal de Physique, année 1805, tome 1er, 149.

(2) Annales de Chimie, tome 42, pages 421 et 282.

Aussitôt que les charbons sont dans le fourneau, ils s'échauffent; l'eau qu'ils contiennent se divise en deux parties, l'une se vaporise et l'autre se décompose; l'oxigène de l'eau se combine avec du carbone, forme de l'acide carbonique, et quelquefois de l'oxide de carbone; l'hydrogène, partie constituante de ce liquide décomposé, se combine aussi avec du carbone, et produit de l'hydrogène carboné. Ces deux nouveaux composés (l'oxide de carbone et l'hydrogène carboné) recevant le contact de l'air en sortant du haut fourneau, se combinent avec son oxigène, et produisent cette belle flamme bleue que l'on voit briller audessus du gueulard.

On pourrait ajouter, que l'azote échauffé dans les fourneaux, se combine également avec une portion de carbone, en traversant la masse du combustible embrasé qui remplit leur capacité intérieure, et qu'il se produit un *gaz azotique carbonisé* (1) qui brûle également sur le gueulard.

Si, maintenant, on supposait que l'oxigène de l'air atmosphérique, qui pénètre dans le fourneau, fût entièrement transformé en oxide de carbone, (ce qui doit arriver dans plusieurs circonstances) les 4670 liv. de charbon, à raison de 48 d'oxigène pour 52 de carbone, n'exigeraient que 4311 parties d'oxigène; conséquemment, il y aurait environ deux fois plus d'air que le combustible n'en emploierait; mais, nous devons le dire, cette quantité d'air que l'on dit être lancé dans les hauts fourneaux n'y arrivent pas entièrement: 1° parce que l'on porte cette quantité (par la méthode à l'aide de laquelle on la déduit (2)) beaucoup plus haut qu'elle ne l'est réellement; 2° parce que plusieurs machines soufflantes

---

(1) Lavoisier, Traité élémentaire de Chimie, tome 1er, page 212.

(2) On suppose, qu'à chaque fois, il se dégage une masse d'air égale à la différence du volume du vide intérieur (occasionné par la dilatation) au volume du vide extérieur, resté après la compression; on verra que, dans les soufflets ordinaires, cette quantité est beaucoup moins grande.

sont assez imparfaites pour laisser sortir l'air qu'elles reçoivent par d'autres ouvertures que par la buse; 3° parce que tout l'air qui sort par la buse n'entre pas dans le fourneau, et qu'une grande partie de celui qui frappe les faces ou les parois de la tuyère, est réfléchi à l'extérieur; d'où il suit qu'il n'arrive jamais dans le fourneau la quantité d'air que l'on paraissait devoir obtenir par le calcul, et l'on voit, en effet, que cette quantité n'y est pas absolument nécessaire, lorsqu'il ne se forme que de l'oxide de carbone.

Quant aux fourneaux alimentés avec de la houille, ils paraissent consumer une quantité d'air un peu plus considérable, proportionnellement au carbone qu'ils brûlent. Cette différence vient probablement de la plus grande dureté, de la plus grande compacité du charbon de houille, qui lui donne la propriété de former de l'acide carbonique, mais qui ne cède pas assez facilement son carbone pour former de l'oxide de carbone, ni pour se combiner en aussi grande proportion avec les gaz hydrogène et azote. Les observations faites sur les quantités d'air lancées dans les hauts fourneaux, relativement à celle du charbon qu'elles brûlent, présentent des différences assez considérables pour fixer l'attention des métallurgistes.

Si l'on pouvait s'en rapporter aux résultats annoncés par Marcher, il s'ensuivrait, que pour 100 parties de charbon de bois consumées dans les hauts fourneaux, pour fondre le minérai de fer, les proportions d'oxigène employées varieraient entre 105 pour le fourneau de 41 pieds de haut de Newiamskoï, en Sibérie, et 668, pour les stuck-offen de 12 pieds de haut de Teisholz, dans la Basse-Hongrie; en supposant que 0,10 de charbon fussent employés à désoxider le minérai et à former le carbure de fer (ce qui est assez probable), il s'en suivrait encore que les quantités d'oxigène, pour brûler 90 parties de charbon de bois, varieraient entre 105 et 668. Il faut, pour former de l'oxide de carbone, avec 90 parties de carbone, 83 d'oxigène, et pour produire de l'acide carbonique, 291 parties. Ainsi, dans le fourneau de Newiamskoï, il y a plus d'oxigène qu'il n'en faut pour changer le charbon en oxide de carbone, et dans le stuck-offen de Teisholz, il y a plus d'oxigène qu'il n'en faut pour transformer le charbon en acide carbonique. La moyenne de la quantité d'oxigène, fournie dans 42 fourneaux, est de 243 parties pondérables par cent de charbon, ainsi, moins qu'il n'en faut pour le convertir en acide carbonique.

Nous ne répéterons pas que ces quantités d'oxigène, calculées ou déduites de l'air lancé par les machines soufflantes, sont beaucoup plus considérables que celles qui entrent dans les hauts fourneaux; mais aussi, les charbons étant humides, doivent moins consumer d'oxigène que s'ils étaient secs. Il resterait à déterminer quelles sont les quantités d'oxigène, au *minimum*, entrées dans les fourneaux, et qui sont nécessaires pour brûler les charbons. C'est un problême sur lequel il nous sera difficile d'avoir des données exactes.

A l'égard des quantités d'air lancé dans les hauts fourneaux, qui fondent les minérais de fer avec de la houille, nous n'avons encore pu observer que les quantités consumées par le haut fourneau du Creusot, dont nous avons suivi le travail pendant quelque temps, et celles qui ont été observées sur le fourneau de Gleiwitz, lesquelles ont été publiées dans le Journal des Mines (1).

(1) Tome 14, page 456.

On coulait au Creusot, pendant notre séjour, 50 quintaux de fonte en 24 heures; on consumait 150 quintaux de charbon de houille, et on lançait dans le haut fourneau 1,800,000 pieds cubes d'air atmosphérique, qui correspondent à 36957 de gaz oxigène; ce qui fait 246 parties d'oxigène par 100 de charbon de houille. Mais comme ce charbon produisait entre 20 et 30 parties de cendres par cent, supposons 0,25, il s'ensuivrait que 100 parties de charbon pur en auraient consumé 328 de gaz oxigène.

Le fourneau de Gleiwitz coulait 44 quintaux de fonte par 24 heures; il brûlait 10672 parties de charbon de houille; il recevait 1,440,000 pieds cubes d'air atmosphérique, dans lesquels sont contenus 28757 pieds cubes de gaz oxigène : c'est 269 parties par 100 de charbon; et en supposant dans le combustible, 0,25 de cendre, comme dans celui du Creuzot, la proportion d'oxigène employée sera de 359 par 100 de carbone.

La moyenne d'oxigène, dans ces deux expériences, est de 340 parties environ, donc $\frac{3}{17}$ plus grande que celle que l'on consume pour le charbon de bois. Comme il ne faut que 284,6 parties d'oxigène pour produire de l'acide carbonique avec 100 de carbone, il semblerait donc que tout le carbone a été changé en acide carbonique; mais tout fait croire qu'il y a eu aussi de l'oxide de carbone.

329. On a vu, par ce qui précède, que la quantité d'air employée dans chaque fourneau, varie relativement au mode de travail, entre 105 et 668 parties d'oxigène pour 90 de carbone, ou entre 117 et 742 par 100 parties de ce combustible; que, dans le premier cas, une grande partie de cet oxigène devait être employée à produire de l'oxide de carbone; et, dans le second, qu'il devait s'échapper encore de l'oxigène non combiné avec du carbone. Ces deux manières dont l'air se comporte peuvent dépendre de la force, de la vîtesse avec laquelle ce fluide élastique est lancé dans le haut fourneau, et de la dureté, ou de la difficulté que le charbon présente à brûler.

Si l'air est lancé dans le fourneau avec une grande force, qu'il ait une grande vélocité en entrant par la tuyère, il passera rapidement dans les vides que les charbons embrasés laissent entre eux; sa grande vîtesse

s'opposant à sa combinaison, il montera promptement au gueulard, et pourra sortir sans que tout son oxigène ait eu le temps de se combiner avec le charbon.

Mais si l'air, en entrant, n'a qu'un faible mouvement, il s'élevera avec lenteur; il restera long-temps en contact avec les charbons, il s'y combinera facilement, et la majeure partie de l'oxigène formera de l'acide carbonique: en passant à travers les premières couches, et en s'élevant, cet acide se combinera avec de nouveaux charbons embrasés, se surcomposera, et formera de l'oxide de carbone.

Enfin, si l'air entre avec une vîtesse égale dans des fourneaux où l'on emploie des charbons légers ou durs, et dont la combustion est facile ou lente, il se combinera, dans son passage, des proportions différentes de carbone.

Lorsque le charbon est léger, qu'il se brûle facilement, une grande partie de l'oxigène de l'air, lorsqu'il entre dans le fourneau, se combine avec le carbone des premières couches, et sa totalité est transformée en acide carbonique, que l'air n'est encore arrivé qu'à une très-petite hauteur: en continuant à s'élever, l'acide carbonique formé se combine à son tour avec de nouveau combustible pour former de l'oxide de carbone, et toute la masse de l'air sort par le gueulard, avec des proportions d'oxide de carbone d'autant plus grandes, que le charbon brûle plus facilement.

Lorsque le charbon est fort, pesant et dur, et qu'il se brûle difficilement, il s'en combine peu avec l'oxigène lorsque l'air passe dans les premières couches; alors ce dernier, peu carboné, arrive au gueulard en contenant encore une portion d'oxigène non combiné.

On voit donc, d'après les résultats que donne l'expérience, d'après les différents degrés de *combustibilité* du charbon, et d'après les diverses hauteurs des fourneaux, que, pour sortir sous un état constant de combinaison, l'air lancé doit avoir des vîtesses d'autant plus grandes que le charbon brûle plus facilement, et d'autant moindres qu'il est plus dense : on voit encore que la vîtesse ou la vélocité de ce fluide doit être proportionnelle à la hauteur du fourneau. Lorsque l'air qui le

traverse a une vitesse donnée, la durée de son passage contribue à produire des fontes grises ou blanches, et à rendre les scories plus ou moins chargées de fer.

330. L'oxigène pouvant parvenir à des tranches élevées du fourneau, sans cependant monter jusqu'au gueulard, détermine, par sa combinaison dans toutes les tranches successives, une température graduelle et lente, depuis la tuyère jusqu'à l'ouverture supérieure. Le minérai, en contact avec des charbons embrasés, descend alors lentement et uniformément, il abandonne d'abord son oxigène, puis il se combine avec le carbone; il arrive ainsi, très-carboné, au foyer où il se liquéfie, et il se produit alors une fonte grise uniforme; mais lorsque l'oxigène est épuisé dans les tranches inférieures seulement, cet épuisement occasionne trois effets différents qui contribuent à produire une moins grande quantité de fonte et à la rendre défectueuse : 1° la diminution de la température est rapide, à partir de l'ouvrage où elle est très-grande; et quoique le minérai descende pendant un long espace, en restant en contact avec le charbon, il arrive cependant qu'il ne peut se combiner avec ce combustible, parce que la température n'est pas assez élevée pour que la combinaison puisse avoir lieu; 2° la combustion rapide qui se fait vis-à-vis la tuyère et dans l'ouvrage, y occasionne de grands vides qui sont remplis tumultueusement par le charbon peu échauffé, et par le minérai peu désoxidé, qui tombent des parties supérieures : l'oxide et sa gangue sont aussitôt élevés à une haute température; ils se fondent avant d'avoir subi les préparations qu'une température graduée leur aurait données; et comme cette température est plus élevée dans l'ouvrage qu'elle ne l'aurait été s'il s'y était moins combiné d'oxigène, les scories y acquièrent une plus grande fluidité, et le minérai est fondu plus complètement; 3° la fonte en tombant goutte à goutte, dans une masse d'air très-oxigéné et dont le mouvement est lent, y brûle une partie de son carbone, (s'il s'est formé du carbure de fer avant son arrivée devant la tuyère) ou bien il s'y forme du nouvel oxide de fer (si le métal ne contient pas de carbone qui puisse, en se combinant avec l'oxigène, empêcher son action sur le métal).

La matière fondue qui tombe dans le creuset est donc, d'après ces résultats, de la fonte oxidée blanche, ou un mélange de fer oxidulé et de fer impur, par conséquent, de la fonte recouverte de scories lourdes, qui contient une grande proportion de métal, parce que les scories très-liquides ont beaucoup d'affinité pour l'oxide de fer, et que la fonte qui tombe dans le fourneau est plus oxidée qu'elle ne le serait dans un bon travail.

331. Dans la plupart des fourneaux, et particulièrement dans ceux qui fondent les minérais de fer avec du charbon de houille, il se forme souvent, vis-à-vis la tuyère, une espèce de tube noir dans la largeur du fourneau, probablement par le refroidissement des matières en fusion. « Quand, par hasard, on aperçoit ce tube, dit O'Relly (1), on diminue « la compression ou la vélocité de l'air : ce tube se met à brûler; il re- « verbère et lance de tous côtés des jets d'étincelles, il s'écroule, et ses « débris sont emportés dans toutes les directions par le vent de la « tuyère; quelquefois des masses de ce fer imparfait s'enflamment dans « l'air, et retombent à l'état d'oxide; enfin, la tuyère paraît s'enflammer, « et tout l'intérieur montre une blancheur extraordinaire : la décompo- « sition de l'air est soudainement effectuée dès qu'il passe sur la masse « ignée; le fer oxidé, qui est ainsi exposé à l'oxigène avec le fer et le « carbone, produit cette chaleur étonnante, actuellement visible, et « qui avait lieu auparavant dans le fourneau, mais à une plus grande « hauteur. »

Il résulte de tous ces faits, que, non seulement la quantité d'air qu'il faut lancer dans un fourneau doit dépendre de la quantité de charbon que l'on se propose de brûler, mais qu'il faut encore que sa vîtesse soit modifiée, relativement à la hauteur du fourneau et à la dureté du charbon, de manière à produire la fonte la meilleure avec la plus grande économie possible dans le combustible.

---

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 4, page 26.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

322. On appelle *machines soufflantes*, celles qui sont destinées à recueillir des masses d'air, à les réunir dans des réservoirs, d'où elles sont ensuite lancées dans les fourneaux.

Les machines soufflantes peuvent être divisées en deux classes : dans les unes, l'air est introduit par le secours de l'eau, et dans les autres, le fluide élastique est introduit par une diminution dans la pression intérieure du réservoir qui le contient : les premières sont connues sous le nom de *trompes*, et les secondes sous celui de *soufflets*, de *caisses à air*, de *pompes à air*, etc.

DES MACHINES DANS LESQUELLES L'AIR EST INTRODUIT PAR LE SECOURS DE L'EAU.

333. Toutes les fois que l'air et l'eau sont en contact, ces deux fluides se combinent ensemble; l'air devient liquide dans l'eau, et celle-ci devient fluide élastique dans l'air; mais ces deux substances sont assez faiblement unies pour être séparées, jusqu'à un certain point, par des moyens mécaniques.

On obtient une très-grande partie de l'air contenu dans l'eau, en soumettant ce liquide à l'action du vide, ou mieux, en diminuant la pression que l'atmosphère exerce sur lui. On combine également de l'air avec l'eau, en augmentant la force compressive du premier fluide sur la surface du second.

Pour obtenir en grand, l'air mêlé ou combiné avec l'eau, il suffit de faire entrer un rapide courant d'eau saturée d'air, dans un espace fermé. Ce liquide, en jaillissant contre un obstacle, laisse dégager une portion du fluide élastique qu'il contient, et celui-ci peut s'échapper par une issue pratiquée dans cet espace, au-dessus de la surface de l'eau. Le Père Schotte indique, dans son Hydraulique, en parlant des orgues, une machine soufflante avec laquelle on peut obtenir un jet d'air continu par le moyen d'un courant d'eau très-peu incline.

334. Les machines soufflantes auxquelles on a donné le nom de *trompes* et dont on fait ordinairement usage, sont composées d'un long tuyau vertical A, (pl. 24) qui communique, dans sa partie supérieure *a*, à un courant d'eau, et dans sa partie inférieure à une caisse *b*.

L'ouverture supérieure du tuyau doit être disposée de manière que l'eau qui y entre soit mélangée d'air, afin que celui-ci, entraîné par le liquide, tombe avec lui dans la caisse où ces deux fluides peuvent, par leur différence de densité, se séparer et s'échapper par deux sorties différentes, *c*, *d*.

On doit pratiquer, à cet effet, une ou plusieurs ouvertures dans la partie inférieure *c* de la caisse, pour donner issue à l'eau plus pesante, et une autre à sa partie supérieure *d*, pour donner issue à l'air plus léger.

Les ouvertures inférieures peuvent être bouchées par une petite *vanne* *c*, *v*, fig. B, C, que l'on ouvre et que l'on ferme plus ou moins, relativement à la quantité d'eau qui doit sortir : il faut avoir l'attention de maintenir toujours le niveau intérieur de l'eau au-dessus de l'ouverture, afin que l'air intérieur soit retenu dans la caisse et ne puisse s'échapper que par l'ouverture supérieure.

Il est bon de placer devant l'ouverture *v*, ou les ouvertures *c* des caisses, un petit réservoir *r*, fig. B, plus élevé qu'elles, afin que l'eau soit obligée de les emplir, pour s'échapper ensuite par-dessus leurs bords; par ce moyen, l'ouverture inférieure du réservoir se trouve toujours couverte de ce liquide, et l'air, retenu par l'eau, sort naturellement par le canal supérieur *d*, appelé *porte-vent*. C'est par ce conduit que l'air s'échappe pour se porter dans les lieux où il doit exercer son action.

335. Il y a plusieurs manières de déterminer l'eau à entraîner avec elle de l'air dans l'ouverture supérieure.

Mariotte décrit une trompe (1) dans laquelle l'ouverture D a la forme d'un entonnoir. « On a, dit ce savant, un tuyau de bois ou de fer « blanc F, de 14 à 15 pieds de haut, et d'un pied de diamètre, qui est

(1) Traité du mouvement des eaux, page 68.

« soudé dans une médiocre cuve renversée *b*, dont le bas est posé sur « un terrain, ensorte que la quantité d'eau qui y tombe, quelque petite « qu'elle soit, ferme les ouvertures *c*, et l'air n'y peut plus passer : on « laisse au haut du tuyau une ouverture *a* de 3 à 4 pouces de diamètre, « dans laquelle on met un entonnoir dont le goulot est de la même « grosseur; on y fait tomber de 15, 20 ou 30 pieds de haut, de l'eau de « quelques fontaines, dont la largeur, en tombant, doit être à-peu-près « égale à celle de l'ouverture de l'entonnoir, en sorte qu'il ne peut s'y « amasser d'eau qu'à la hauteur de 5 ou 6 pouces. Cette eau, en tom- « bant, entraîne avec elle beaucoup d'air qui la suit jusqu'au-dessous de « l'entonnoir, à cause de la pesanteur de l'eau qui continue à tomber, et « de la vîtesse de son mouvement. On met à côté de la cuve un tuyau *d*, « qui va en se rétrécissant jusqu'auprès du fond du fourneau où le char- « bon doit être soufflé. L'air, pressé et enfermé dans la cuve, ne pouvant « sortir par en haut, à cause de la chûte impétueuse de l'eau qui occupe « le trou de l'entonnoir, ni par en bas, à cause de l'eau qui s'y amasse, « et qui s'élève à un pied ou deux par-dessus les fentes qui restent entre « la terre du fond et les douves de la cuve, cet air est contraint de sortir « avec une grande force par le bout du canal; de manière qu'il fait le « même effet, pour souffler le charbon, que les plus grands soufflets de « cuir dont on se sert ailleurs. »

Bélidor (1) a appris que cette espèce de trompe était employée dans la montagne de Tiburtine, près de Rome. Dans quelques endroits où l'eau ne peut pas tomber d'une si grande hauteur, pour entraîner de l'air avec elle, on la fait arriver par un large canal *a*, fig. E, dans l'entonnoir, dont l'ouverture est tellement large qu'elle ne peut pas être remplie. Le diamètre du tuyau doit être tel que l'eau s'élève toujours, dans l'entonnoir, à quelques pouces au-dessus de son ouverture, pour pouvoir faire écouler celle qui arrive. Par ce moyen, l'eau entrant dans l'entonnoir, avec une vélocité acquise par son mouvement dans le canal, chasse de l'air devant elle, et forme, dans la capacité de l'enton-

(1) Architecture hydraulique, 2ᵉ volume, page 194.

noir, un tourbillon qui entraîne avec lui de nouvel air et le fait passer dans le tuyau de la trompe, d'où il est entraîné avec l'eau dans sa chûte.

Dans les Pyrénées, l'eau entre dans le tuyau G par une espèce d'entonnoir en forme de pyramide; mais celui-ci étant toujours plein, et l'eau n'y ayant aucun de ces mouvements, qui lui permettent d'entraîner de l'air avec elle, arrive dans le tuyau en ne contenant qu'une très-petite quantité de ce fluide élastique. Pour fournir au liquide, qui coule dans le canal, assez d'air pour que la trompe puisse être employée comme machine soufflante, on pratique, aux deux côtés de l'entonnoir par lesquels l'eau arrive dans le tuyau, deux autres trompilles ou *tremies e, t,* dont les ouvertures s'élèvent au-dessus du niveau de l'eau. On donne à ces ouvertures le nom de *trompilles.* C'est par ces ouvertures que l'air arrive dans l'espace vide que l'eau forme dans le tuyau, en y entrant: et cette portion d'air, qui touche immédiatement le courant d'eau, est entraînée avec lui, pour être ensuite précipitée dans le réservoir, d'où elle s'échappe pour aller entretenir la combustion dans les lieux où elle est dirigée.

Dans les Alpes, les trompes H, ont aussi un long entonnoir *g,* placé à leur ouverture supérieure, par lequel l'eau entre, comme dans ceux des Pyrénées, sans former de tourbillons; aussi place-t-on à l'extrémité de l'entonnoir, dans l'endroit où la veine fluide se contracte en entrant dans le tuyau, des ouvertures *e, f,* auxquelles on a donné le nom de *trompillons,* et par lesquelles l'air arrive pour être entraîné par l'eau dans sa marche.

Il suit de cet examen, qu'il existe quatre sortes de machines soufflantes dans lesquelles l'air est dégagé de l'eau qui l'entraîne: 1° celle du Père Schotte; 2° celle de Mariotte D; 3° celle qui est en usage dans les Pyrénées G; 4° celle que l'on emploie dans les Alpes H; mais aussi, de ces quatre sortes de machines, qui peuvent être employées selon les circonstances dans lesquelles on se trouve, les deux dernières sont les seules dont on ait généralement adopté l'emploi.

Dans un grand nombre de trompes, et particulièrement dans

celles des Pyrénées G, K, on ne fait usage que des trompilles supérieures pour attirer l'air que l'on veut accumuler dans la cuve. Dans plusieurs autres, telles que celles de l'Isère N, L, on place, dans la longueur du tuyau, plusieurs autres ouvertures pour faciliter l'entrée de l'air et y en accumuler une plus grande quantité.

La longueur des tuyaux varie en raison de la hauteur de la chûte d'eau que l'on peut se procurer : elle est ordinairement entre 8 et 18 pieds. Le vide intérieur L, est circulaire, en Italie et dans les Alpes; il est carré K dans les Pyrénées. Dans les premiers de ces endroits, les tuyaux L sont formés de deux arbres joints ensemble, arrondis extérieurement et intérieurement; dans les seconds, ils sont formés K de quatre planches dressées et fortement clouées l'une contre l'autre. Le diamètre des cercles intérieurs, et les côtés des prismes quadrangulaires varient entre 6 à 12 pouces.

La caisse qui reçoit l'air et l'eau est circulaire ou elliptique Z, dans les Alpes et en Italie. Elle est construite avec des douves et des cercles de fer, comme les cuviers ordinaires, et on lui donne le nom de *cuve*. Elle est carrée ou trapezoïdale K, dans les Pyrénées; on la construit avec des planches clouées et calfatées. Dans quelques endroits, la caisse et les tuyaux eux-mêmes sont en maçonnerie solidement construite, et tellement cimentée que l'air ne peut en sortir.

336. Plusieurs discussions contradictoires ont eu lieu sur l'effet des trompilles et des ouvertures latérales : les uns prétendaient qu'ils augmentaient la quantité d'air accumulé dans la caisse; les autres, au contraire, qu'ils la diminuaient. M. Lawis, en ne considérant que l'effet des trompillons ou des ouvertures qui aboutissent à l'étranglement, a trouvé qu'ils diminuaient la quantité d'air qui arrive dans la caisse, lorsque l'eau, avant de tomber dans l'entonnoir, a déja entraîné assez d'air avec elle, comme cela a lieu dans la trompe décrite par Mariotte, et dans celles où l'eau tourbillonne dans l'entonnoir; mais aussi qu'elles favorisaient l'entrée de l'air, et qu'elles augmentaient son volume, lorsque l'eau parvenait dans l'entonnoir sans avoir entraîné une quantité sensible d'air avec elle. Les ingénieurs en chef des mines, Beaunier et Gal-

lois (1), ont conclu, de plusieurs expériences faites sur les trompes de la fonderie de Poullaonen, que, quel que fût le nombre des ouvertures faites à l'étranglement du tuyau, il n'y en avait jamais qu'une quantité déterminée qui pût procurer la masse d'air convenable; mais leurs expériences n'ont été faites que sur quatre ouvertures seulement : ils ont vu la pression de l'air augmenter du poids d'une colonne d'eau de 9 à 23 pouces, en ne débouchant qu'une seule ouverture; l'air sortant ensuite par le même orifice, a augmenté sa pression de 23 à 25 pouces, en débouchant un second trompillon; enfin, la pression a augmenté de 25 à 26 pouces en en débouchant un troisième : ils n'ont plus aperçu de changement sensible, dans la pression, en en débouchant un quatrième. Comme ces expériences n'ont pas été poussées plus loin, nous ne pensons pas que l'on doive conclure que la quantité d'air n'aurait pas été diminuée, si l'on eût débouché un plus grand nombre d'ouvertures. Les forgerons des Pyrénées sont dans la persuasion que les trompillons, dont l'ouverture inférieure est trop grande, contribuent à faire diminuer la quantité d'air qu'on aurait dû obtenir.

Quant aux ouvertures percées à diverses hauteurs, le long du tuyau, elles produisent un effet semblable à celui des ouvertures faites à l'*etranglion,* lorsque l'eau entraîne dans l'entonnoir une quantité d'air considérable; et cette défectuosité est plus ou moins grande, selon la hauteur du tuyau à laquelle les ouvertures sont faites. M. Barthez, père (2), a percé des ouvertures dans plusieurs tuyaux des trompes des Pyrénées, et il a remarqué qu'il s'échappait de chacune d'elles des jets d'air et d'eau, dont l'amplitude était d'autant plus considérable que l'ouverture était plus éloignée de l'entonnoir. Ces expériences suffiraient pour faire apprécier les pertes d'air que ces ouvertures occasionnent dans plusieurs circonstances; mais leurs effets peuvent être déterminés, dans tous les instants, par une expérience bien simple. Il suffit de placer une lumière devant les ouvertures *o, p, q,* fig. M : si elles contribuent

(1) Journal des Mines, tome 16, page 37.

(2) Mémoires des Savants étrangers de l'Académie des Sciences, vol. 3, page 378.

a augmenter la masse de l'air, on voit la flamme *o* attirée dans le tuyau, on la voit également en *q*, s'éloigner, lorsque l'air sort du tuyau; enfin, l'effet de l'ouverture *p* est nul, et la flamme conserve une direction verticale, si elle n'est ni attirée, ni repoussée.

Les trompes, ces machines soufflantes si simples, si extraordinaires et si ingénieuses, furent, d'après Grignon (1), inventées en Italie, vers l'an 1640. La première description qui en fut donnée en français, est inexacte : elle se trouve dans le Journal des Savants, du lundi 5 avril 1666 (2). On fait connaître, dans ce N°, les trompes employées à Tivoli, près de Rome. Agricola, qui a décrit toutes les machines soufflantes qui existaient en 1556 (3), époque de l'impression de son ouvrage, n'avait aucune connaissance de ces sortes de machines, qui furent imaginées depuis.

De l'Italie, les trompes se répandirent dans les Alpes, d'où elles furent probablement transportées dans les Pyrénées; mais, ce qui paraîtra singulier au premier instant (et ce qui est cependant très-naturel), c'est que ces sortes de machines semblent, en quelque sorte, reléguées dans ces deux chaines de montagnes, quoiqu'elles aient été décrites et publiées avec éloge dans un grand nombre d'ouvrages. On conçoit comment il peut se faire qu'elles n'aient pas été introduites dans les plaines, parce qu'il n'existe pas ordinairement de chûtes d'eau assez considérables pour les y employer. Nous verrons, en discutant les avantages et les inconvénients des machines soufflantes en général, d'après la comparaison de leurs effets, pourquoi celles-ci n'ont pas été introduites dans d'autres chaines de montagnes, où il existe des chûtes d'eau assez multipliées pour pouvoir les y adopter généralement.

---

(1) Mémoire de Physique sur l'Art de fabriquer le fer, page 196.

(2) Vers la fin du 14[e] journal, page 192.

(3) *De re metallica.*

DES MACHINES SOUFFLANTES DANS LESQUELLES L'AIR EST INTRODUIT PAR UNE DIMINUTION DE LA PRESSION INTÉRIEURE.

337. Ces machines sont, le plus ordinairement, des caisses de formes variées dans lesquelles l'un des plans a la propriété de se mouvoir, et d'agrandir ou de diminuer, par ce mouvement, le volume du vide intérieur.

Elles ont toujours deux ouvertures, l'une par où l'air entre, l'autre par où il sort. La première N, O, est recouverte d'un plan mobile que l'on appelle *soupape*. Il se meut le plus souvent à l'aide d'une charnière N, et on l'a nommé *soupape à clapet;* quelquefois, mais rarement, c'est un segment de cône O qui remplit exactement un espace de même forme et de même dimension. On donne à ces soupapes le nom d'*ame*, parce que, en effet, c'est par leur mouvement que l'air est aspiré ou retenu dans la caisse intérieure. La seconde ouverture, celle par où sort l'air, est absolument libre. Un tuyau conique de tôle ou de cuivre, nommé *buse* P, Q, est fixé à une des extrémités des caisses. C'est par cet endroit que l'air est lancé dans les fourneaux. Dans plusieurs de ces machines l'ouverture de la buse P est libre. Mais comme, au moment de l'aspiration il peut y entrer de l'air et quelquefois même des corps embrasés capables de mettre le feu à la machine, il est d'usage, dans plusieurs usines, de placer, soit dans l'intérieur, soit à l'extérieur de la buse Q, une soupape *s*, qui permette à l'air de sortir, et qui s'oppose en même temps à l'entrée de toute espèce de corps.

Lorsque le diaphragme mobile de la machine se meut pour agrandir le volume intérieur, l'air qui y est contenu se raréfie. L'effort qu'il exerce sur la soupape, sur l'ame, étant moins grand que celui de l'air extérieur, qui lui-même est plus dense et plus comprimé, cet air soulève la soupape et pénètre dans le nouvel espace pour le remplir. En donnant au diaphragme mobile un mouvement opposé, c'est-à-dire, en le rapprochant du plan fixe pour faire diminuer le volume de la caisse, alors l'air intérieur qui se trouve plus comprimé que celui de l'exté-

rieur, fait un effort sur la soupape de la buse, et enfin s'échappe par son ouverture.

Dans les machines soufflantes, la substance qui sépare le diaphragme mobile du plan fixe, est flexible ou inflexible, ce qui fait qu'on peut diviser ces sortes de machines relativement à l'une ou à l'autre de ces deux propriétés; de-là deux espèces de machines soufflantes dans lesquelles l'air peut être introduit par une diminution dans la pression intérieure, les unes à *parois flexibles*, et les autres à *parois inflexibles.*

DES MACHINES SOUFFLANTES A PAROIS FLEXIBLES.

338. La plus simple de ces machines est celle dont quelques fondeurs ambulants se servent pour activer le feu qui doit fondre les métaux qu'ils veulent liquéfier. Ce sont de grands soufflets faits de peaux de chèvre ou de bouc, souples et flexibles, qui ont deux ouvertures; à l'une est fixée une buse, et le fondeur saisit les bords de l'autre ouverture avec une main qu'il serre plus ou moins fortement, selon qu'il veut la fermer ou l'ouvrir, pour empêcher la sortie de l'air, ou en permettre l'entrée dans l'intérieur.

Pour activer le feu, avec ces soufflets, on pose la buse dans le foyer; alors l'ouvrier tenant la partie supérieure de l'une de ses outres dans chaque main, il la rapproche ou l'écarte alternativement de la buse; ayant soin toutefois de fermer cette ouverture, lorsqu'il la pousse vers le bas, afin de comprimer l'air, et de le forcer à sortir par la buse; il doit ensuite entr'ouvrir la main lorsqu'il l'élève, afin qu'il puisse entrer, par l'ouverture supérieure, de nouvel air, pour être lancé dans le foyer, pendant le mouvement descendant qui rapproche la main de la buse, et qui comprime l'air contenu dans l'outre.

339. Les machines soufflantes dont on fait usage et auxquelles on a donné le nom de *soufflets,* ont des formes qui varient selon les lieux et les temps. Agricola, dans son immortel ouvrage *de Re Metallica,* décrit deux sortes de soufflets, l'un qui a la forme d'un coin, l'autre celle d'un cylindre ou d'un cône tronqué. Ils sont l'un et l'autre composés de deux plans, l'un fixe, l'autre mobile.

Dans les soufflets qui ont la forme d'un coin A, C, D, (planche 25) le plan immobile *b* est fixé sur un prisme de bois ou sur une pyramide rectangulaire *a*, qui forme la tête du soufflet, et à laquelle on donne le nom de *têtière*, il y est arrêté par deux charnières qui facilitent son mouvement; entre les deux plans *b*, *c*, on interpose deux ou plusieurs cadres, qui ont la forme de leur contour. Une ou plusieurs peaux de vache, attachées sur les plans et les cadres, forment les parois flexibles qui séparent et facilitent l'éloignement et le rapprochement du plan mobile de celui qui est fixe.

L'ame ou soupape est toujours placée sur le diaphragme inférieur, soit que ce diaphragme reste fixe, soit qu'il ait un mouvement.

Dans les soufflets cylindriques ou coniques B, décrits par Agricola, la buse est attachée sur le plan fixe, et l'ame ou la soupape sur le diaphragme mobile.

Il paraît que les soufflets de cuir sont d'une très-haute antiquité, ce qui fait qu'il nous est très-difficile de remonter à leur origine. Les Grecs, du temps d'Homère, connaissaient les soufflets; car, en parlant des armes que Thétis demanda à Vulcain pour Achille, ce prince des poètes dit : « Pour faire les armes d'Achille, il retourne à sa forge, « approche ses *soufflets* du feu, et leur ordonne de travailler; en même « temps ils soufflent dans vingt fourneaux, etc. » Cependant Strabon attribue l'invention de cet instrument au scythe Anacharsis, qui se rendit recommandable à Athènes, par son savoir, son désintéressement, sa prudence et l'austérité de ses mœurs.

340. Les soufflets dont on fait ordinairement usage pour faire rendre aux tuyaux d'orgue les sons que l'on veut en obtenir, diffèrent des anciens soufflets de forge, en ce que ceux-ci, B, C, ont leurs parois mobiles en cuir, et que ceux-là sont formés de petits ais ou de petites planches de bois fort minces A, F, G, réunies les unes aux autres par leurs arêtes et retenues par des bandes de peau *a*, fig. G, qui leur permettent d'avoir un mouvement d'articulation ou une sorte d'oscillation, à l'aide de laquelle les deux plans peuvent être éloignés et rapprochés alternativement. Ces sortes de soufflets, qui pourraient également servir aux

forges, comme ceux de cuir, s'ils ne se dégradaient pas si vîte, s'ils n'exigeaient pas des réparations plus considérables et plus souvent répétées, peuvent avoir la forme d'un coin D, ou d'un prisme quadrangulaire F.

341. Les soufflets à parois flexibles, dont on se servait anciennement, n'avaient qu'une ame et deux diaphragmes. Ces sortes de machines avaient l'inconvénient, lorsqu'on les employait isolément pour souffler et activer le feu des fourneaux, de produire un jet d'air alternatif qui occasionnait souvent des variations dans la température, et qui nuisait à la fusion des minérais. Pour régulariser le courant d'air, on a réuni à chaque fourneau deux soufflets dont les mouvements sont tellement ordonnés, que le second lance de l'air lorsque le souffle du premier cesse et qu'il commence à en aspirer de nouveau, et cela successivement.

Pour éviter la multiplicité des machines soufflantes, on a imaginé de construire des soufflets à trois diaphragmes E, afin de leur faire produire un jet continu.

Celui du milieu *a* est immobile, il est fixé sur la têtière *b*, qui est percée d'une ouverture *c*, recouverte d'une soupape; les deux autres plans, inférieurs ou supérieurs, sont mobiles; le premier *d* est percé comme le diaphragme du milieu, d'une ouverture *e*, couverte d'une soupape; c'est dans la partie de la têtière, placée entre le diaphragme du milieu et le plan supérieur, qu'est l'ouverture *f* par laquelle l'air sort, et sur laquelle la buse est fixée.

En écartant le diaphragme inférieur *d* de celui du milieu *a*, on augmente l'espace qui les sépare; l'air dilaté presse moins sur la soupape inférieure *e*, l'air extérieur entre et remplit le vide formé. En rapprochant le diaphragme inférieur *d* de celui du milieu, l'air contenu dans cet espace est comprimé; il soulève la soupape du milieu *c*, et passe dans l'espace supérieur, qui sépare le diaphragme du milieu du plan supérieur : comme l'air qui entre dans ce second espace est plus comprimé que l'air extérieur, il soulève le plan supérieur *g*, et augmente ainsi son volume. En écartant de nouveau le diaphragme inférieur, on

dilate l'air contenu dans cet espace; celui de l'espace supérieur étant plus dense, presse sur la soupape intermédiaire *c*, et la ferme. L'air ainsi contenu dans l'espace supérieur et qui est comprimé par le poids du plan supérieur, est obligé de sortir par l'ouverture *f* de la buse, qui communique à cet espace. Ainsi l'air commence à sortir depuis le moment où, comprimé dans l'espace inférieur, il entre dans celui qui est placé au-dessus, et il continue sa sortie tant que le plan supérieur presse l'air qui est soumis à son action : or, comme ce plan continue son mouvement pendant tout le temps que le diaphragme inférieur aspire de l'air de l'atmosphère, et qu'il le comprime ensuite pour le faire entrer dans l'espace supérieur; il s'ensuit que l'air sort par la buse en un jet continu.

Les soufflets de cuir et les soufflets d'orgues exigeant de grandes réparations, souvent renouvelées, on les a remplacés par des machines à parois inflexibles.

DES MACHINES SOUFFLANTES A PAROIS INFLEXIBLES.

342. Ces sortes de machines soufflantes sont composées de deux caisses H, qui se meuvent l'une dans l'autre, ou d'un diaphragme qui se meut dans une caisse, fig. I.

Le mouvement de la caisse ou du piston, dans une autre caisse, doit être produit de manière que l'air dilaté ou comprimé dans la caisse qui le reçoit ne puisse entrer et sortir par d'autre ouverture que par la soupape et la buse.

Pour empêcher l'air d'entrer et de sortir par d'autres ouvertures que par celle de la soupape et de la buse, on construit deux sortes de machines soufflantes. Dans les unes, le mouvement s'exécute dans l'eau, et dans les autres, les surfaces frottées joignent si exactement, par le moyen de ressorts, que l'air ne peut trouver aucune issue entre elles. Nous diviserons en deux classes les machines soufflantes à parois inflexibles : celles qui sont mues dans l'eau, et celles qui éprouvent un frottement.

Des Machines soufflantes mues dans l'eau.

343. Ces machines sont ordinairement composées de deux caisses fig. K; la première *a*, qui est extérieure et pleine d'eau, est fixe; la seconde *b*, qui est intérieure, est vide et mobile. Dans la première sont deux tuyaux *c*, *d*; l'un *d* est recouvert d'une soupape pour donner issue à l'air inspiré; l'autre *c* est entièrement ouvert pour donner passage à l'air expiré; la seconde caisse *b* est suspendue à un mécanisme qui l'élève et la baisse. En l'élevant, l'air qu'elle contient se raréfie, et l'air extérieur soulève la soupape *d*, pour remplir le vide; en l'abaissant, l'air intérieur est comprimé; il ferme la soupape et s'échappe par le porte-vent.

Ces machines paraissent inconnues, quoiqu'elles soient très-anciennes; il est cependant peu de recueils de machines à air et à eau dans lesquelles on n'ait décrit de ces sortes de soufflets.

Quoique ce moyen d'obtenir de l'air soit très-simple, et qu'il soit décrit depuis long-temps, on connaît peu d'usines où il soit en usage. Grignon (1) annonce qu'une de ces machines a été établie à Châteaudrin, par M. Danican, et qu'elle a été abandonnée comme trop dispendieuse. Quelques personnes en attribuent l'invention à ce maître de forge; d'autres présument qu'il en a puisé l'idée dans un auteur espagnol fort ancien.

Le peu d'usage de ces sortes de soufflets, leur abandon par-tout où ils ont été employés, leur simplicité, leur bonté apparente, peuvent en quelque sorte les faire inventer de nouveau par les personnes qui s'occupent de machines soufflantes, et qui n'ont pas assez étudié leur histoire. Nous proposâmes, en 1790 et 1791, l'usage d'un soufflet à caisse mobile, placé dans une autre caisse pleine d'eau, mais il ne fut exécuté qu'en modèle.

On trouve, dans la physique de Desaguliers (2), une pompe à eau

---

(1) Mémoire de Physique sur l'Art de fabriquer le fer, page 211.

(2) Tome 1er, pages 576 et suivantes.

imaginée par M. Haskins, dans laquelle on fait usage de mercure, à la place de l'eau que l'on emploie dans les machines à air, pour fermer la communication entre l'air extérieur et celui que l'on fait entrer dans les caisses; mais lorsqu'on eut observé que cette machine était moins avantageuse que les pompes ordinaires, elle fut aussitôt abandonnée qu'exécutée.

On a publié dans les Transactions Philosophiques (1), des détails sur une machine soufflante assez ingénieuse, imaginée par Martin Triewald. Elle est composée de deux cuves que l'on a placées aux deux extrémités d'un balancier, sur lequel sont fixées de longues caisses de bois formant un canal dans lequel tombe de l'eau qui vient d'un courant. En coulant dans l'une ou dans l'autre de ces caisses, ce liquide parvient à l'une des extrémités du balancier où il exerce, par sa pesanteur, une action qui fait tomber la cuve dans un réservoir. Alors l'eau, qui s'était accumulée dans la caisse, s'échappe au dehors, tandis que celle du courant, en tombant dans l'autre canal, le fait incliner à son tour lorsqu'il se trouve assez rempli. Il soulève lui-même, en s'inclinant, l'autre extrémité du lévier où l'eau du courant s'écoule encore, pour faire incliner de nouveau la caisse qu'il supporte. De cette suite d'actions de l'eau dans les deux caisses, il résulte un mouvement d'oscillation dans le balancier, qui fait élever et abaisser les deux cuves.

Ces cuves plongent successivement dans un grand réservoir d'eau. Elles ont, à la partie supérieure, deux ouvertures qui se ferment avec des soupapes. L'une sert à l'entrée de l'air dans la cuve lorsqu'elle s'élève, et l'autre à sa sortie lorsque la cuve s'abaisse. La dernière communique au fourneau par le moyen d'un porte-vent flexible qui y dirige l'air sortant des cuves.

M. John Laurie fit exécuter, près d'Edimbourg (2), en 1786 ou 1788, un soufflet à eau L, composé d'une caisse *a*, qui se meut dans

---

(1) Année 1736, tome 42, n° 448, art. 1er.

(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 15, pages 225 et suivantes.

un autre *b*. Celle-ci a son intérieur rempli par un massif qui contient trois tuyaux, deux qui servent d'entrée à l'air et qui ont des soupapes; le troisième *c*, qui communique dans une nouvelle caisse *d*, pleine d'eau, fait l'office de régulateur. On ignore si cette machine existe encore, et si elle n'a pas été remplacée par les cylindres de fonte dont on fait usage aujourd'hui dans toute l'Angleterre.

Une semblable machine fut exécutée dans les mines du Hartz pour aérer des galeries.

On trouve dans l'ouvrage de Tiemann (1) et dans les Annales des Arts et Manufactures (2), la description d'un soufflet à eau M, inventé tout récemment par M. Baader, et qu'il a fait construire dans les forges de Weyerhammer dans le Haut-Palatinat. Ce soufflet diffère peu de celui de M. John Laurie, dont nous nous contentons de donner ici le dessin, fig. M, N.

Dans toutes ces machines on est obligé d'employer deux caisses, l'une pour contenir l'eau, l'autre pour contenir l'air; l'eau de la première caisse, continuellement soumise à des compressions très-variables d'air dilaté et comprimé, éprouve des oscillations qui la font quelquefois passer dans les tuyaux aspirants, et qui contribuent ainsi à faire lancer de l'eau, dans le fourneau, par le porte-vent.

On pourrait éviter l'usage de la cuve qui contient l'eau, en plongeant, dans un bassin ordinaire, celle qui aspire l'air, et l'on pourrait ainsi éviter les inconvénients de l'eau portée dans le fourneau par le porte-vent, en appliquant sur le sommet de la cloche aspirante: 1° la soupape qui aspire, 2° le porte-vent; mais, pour faciliter le mouvement de la caisse, il faut ajouter à l'ouverture par laquelle sort l'air comprimé, un tuyau de cuir flexible qui communique par son autre extrémité au porte-vent. Il nous reste un souvenir confus d'avoir vu, dans quelques collections de machines, le dessin d'un semblable soufflet O, que l'on disait avoir été exécuté.

---

(1) Systematische Eisen-hutten-kunde, S. 274.

(2) Tome 15, pages 225 et suivantes.

Le réservoir à air, ou, pour mieux dire, le régulateur de M. Laurie L, paraît, par sa construction, propre à détruire l'inconvénient occasionné par l'eau chassée dans le porte-vent; mais cet inconvénient n'est détruit qu'en partie, parce que l'eau disséminée dans l'air, sous forme de brouillard, est également transportée au fourneau, et il ne se dépose dans le régulateur que des globules trop gros pour être entraînés par le courant d'air.

Des Machines soufflantes à frottement.

344. Les machines soufflantes à frottement sont composées d'un prisme creux dans lequel se meut un diaphragme ou une autre caisse. Le prisme doit avoir ses faces intérieures lisses et dressées, afin que la caisse ou le diaphragme qui s'y meut éprouve un frottement uniforme, qu'il joigne parfaitement avec les parois dans toute la durée de leur mouvement, et qu'il ne se forme aucun vide entre la surface frottante et la surface frottée.

Comme les surfaces frottantes et frottées s'usent nécessairement par la continuation du mouvement, et qu'au bout d'un temps la surface frottante ne remplirait pas exactement l'espace vide de la surface frottée, on ajoute, sur les bords de la surface frottante, des liteaux comprimés par des ressorts P, Q, R, S. Ce sont des bandes de bois, recouvertes de peaux, qui forment les surfaces frottantes, et que les ressorts retiennent continuellement en contact avec la surface frottée.

Dans les prismes à faces droites, les liteaux doivent être au moins de deux pièces *a, b,* fig. S, dans leurs longueurs, afin de pouvoir placer entre elles un ressort qui les alonge lorsque la boîte s'use par le frottement, et afin que les angles soient toujours remplis par le corps frottant.

Dans les vides cylindriques T, les liteaux circulaires sont divisés en plusieurs parties, et la pression des ressorts suffit pour les étendre, lorsqu'ils s'usent, de manière à ce qu'ils touchent continuellement toutes les surfaces intérieures.

345. Il paroît que les machines soufflantes à frottement sont très-

anciennes, quoiqu'elles n'aient été mises en usage, en Europe, que depuis très-peu de temps; tout fait croire même que les machines soufflantes à parois flexibles ont succédé aux machines soufflantes à frottement, et que ces dernières, à leur tour, ont remplacé les premières; car les machines soufflantes dont on fait usage à Siam, à Madagascar, où l'art de fondre le fer est encore, pour ainsi dire, dans l'enfance, sont des cylindres de bois ou des arbres creusés cylindriquement, dans lesquels on place des pistons de bois, recouverts dans leur pourtour avec de la filasse ou d'autres substances molles et flexibles, pour adoucir leur frottement. Ces sortes de machines soufflantes sont mues à bras d'hommes; un seul en fait mouvoir deux à-la-fois.

La première machine soufflante à frottement qui ait eu un grand succès en Europe, est celle que l'on connaît sous le nom de *soufflets de bois*. Schlutter (1) en fixe l'invention en 1620. Il l'attribue à l'évêque de Bamberg, en Bohême; O'Relly (2) et Tiemann annoncent que Fannen Schmidt les perfectionna en 1626. Gartner croit qu'ils ne furent inventés qu'en 1658, par Schoelborn, de Cobourg, en Saxe (3). Avant que ces soufflets ne fussent connus, on ne faisait usage, dans toutes les usines, que de soufflets de cuir : ces nouvelles machines présentaient, sur les anciennes, quatre sortes d'avantages qui leur firent bientôt donner la préférence dans tous les lieux où elles furent connues, et où l'on trouva des ouvriers en état de les construire : 1° il n'en coûte pour les établir que le tiers de la dépense des premières; 2° elles durent soixante-quinze ans, tandis que celles de cuir n'en durent que cinquante; 3° elles n'exigent, pour les réparations annuelles, que le cinquième des frais des autres machines; 4° avec la même quantité d'eau elles aspirent et expirent un volume d'air plus considérable, et leur action est plus uniforme. Tous ces avantages les firent généralement adopter. Les auteurs

(1) De la Fonte des Mines, tome 2, page 55.

(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 15, page 226.

(3) T. F. Tolles, und L. E. S. Gartner, Eisen-hütten Magasin, S. 91.

modernes, qui ont écrit sur l'art des forges, comparaient la marche progressive du perfectionnement de ce travail, dans chaque pays, par l'époque à laquelle on avait adopté les soufflets de bois. Courtiveron (1) a soin de nous instruire que ce sont les Allemands qui ont apporté ces soufflets dans le Berry, le Nivernois et la Franche-Comté; que c'est un Suisse qui les a apportés en Dauphiné; que les *Gaucherot*, qui ont appris de ce dernier l'art de les construire, jouissaient d'une grande réputation : Grignon apprend aussi que le Champenois, *Cassel*, ne le cédait en rien aux *Gaucherot*, ses maîtres.

346. Les soufflets de bois ordinaires U, V, X, sont composés de deux caisses *a*, *b*, l'une est plate et fixe *a*; on lui donne le nom de *giste*. C'est sur cette caisse qu'est fixée la *têtière c*, et que sont attachés les *liteaux l*, avec les ressorts qui les compriment; la seconde caisse *b* se nomme *volant;* celle-ci est mobile sur une espèce de charnière : un boulon fixé dans la têtière sert d'axe d'oscillation au volant.

La soupape ou ame *s*, est appliquée au *giste* ou au *volant*, selon que celui-ci est placé dans la partie inférieure ou supérieure, avec cette observation, cependant, qu'elle est toujours fixée à la caisse inférieure mobile ou fixe.

Plusieurs soufflets ne sont formés que d'une caisse fixe ou *giste*, et d'un diaphragme qui sert de caisse mobile ou de *volant :* celui-ci est dans l'intérieur de la caisse fixe, et les liteaux, les ressorts et la soupape y sont appliqués. Tous les auteurs modernes qui ont écrit sur l'art de fabriquer le fer, ont donné de grands détails sur la construction des soufflets de bois; ces sortes de machines étant les plus parfaites que l'on ait connues sur la fin du dernier siècle, chacun s'empressait alors de les faire connaître. Les descriptions et les figures de ces sortes de machines, que l'on trouve dans la fonte des mines de Schlutter (2), dans l'Art des forges de Courtiveron et Bouchu (3), sont assez bonnes. Ces

---

(1) Art des forges, deuxième section, seconde partie, art. 2.

(2) Deuxième volume, page 55.

(3) Section 21, seconde partie, article 2, page 96.

derniers ont extrait, des Mémoires de Réaumur, ce qu'ils ont publié sur cet objet : on trouve encore de fort bons détails sur la construction des soufflets de bois, dans le Traité du fer de Swedemborg (1), dans les Mémoires de Physique sur l'Art de travailler le fer, par Grignon (2); dans l'Encyclopédie par ordre des matières (3), etc. etc. Il est donc inutile de s'étendre davantage sur les détails d'une machine aussi connue; il suffit que l'on sache que la caisse fixe ou le giste, a ordinairement 15 pieds de long sur 5 de large, vers la tête *m*, fig. V, et 18 pouces vers la têtière *c*; que cette têtière a 18 pouces de long sur un pied de large à son extrémité; enfin, que cette caisse a de 5 à 6 pouces de profondeur : quant au volant, ses dimensions doivent être telles qu'il puisse contenir exactement le giste et avoir un mouvement d'oscillation de 20 à 25 pouces de haut.

D'après les observations de l'intelligent maître de forge, Rambourg, les soufflets de bois de Guerigny (4) produisent 140 pieds cubes d'air par minute, en employant 81 pieds cubes d'eau, dont la chûte est de 10 pieds d'élévation.

347 Lorsque les Anglais eurent appliqué le charbon de houille à la fusion des minérais de fer, ils ne tardèrent pas à faire deux observations importantes : la première, que ce charbon exigeait, pour brûler, plus d'air que le charbon de bois; la seconde, que pour fondre avec économie, en employant ce combustible minéral, il était essentiel de le réunir dans de très-grands espaces, dans de grandes cheminées; de-là que les deux soufflets de bois, appliqués aux fourneaux ordinaires, ne produisaient pas une quantité d'air assez considérable; qu'il fallait, ou multiplier ces sortes de soufflets (comme le baron Egger l'a pratiqué dans un de ses fourneaux en Carinthie), ou employer de nouvelles machines susceptibles d'aspirer une quantité d'air beaucoup plus consi-

(1) Première classe, §. 1.

(2) Pages 90 et suivantes.

(3) Arts et Métiers, tome 2, partie 2, page 546.

(4) Journal des Mines, tome 7, page 107.

dérable. C'est à cette nécessité, occasionnée par les circonstances particulières dans lesquelles les Anglais se sont trouvés, que l'on doit l'invention des cylindres et des caisses auxquels on donne particulièrement le nom de *machines soufflantes.*

O'Relly croit (1) que les premières machines cylindriques furent employées dans les belles fonderies de Caron, en Ecosse. Il avoue, à ce sujet, qu'il y avait de la hardiesse dans l'application d'une pompe pneumatique de si forte dimension, au soufflage d'un haut fourneau.

Ces sortes de machines A, B, (planche 26) sont composées d'un grand cylindre de fonte *a,* de 3 à 8 pieds de diamètre et de 6 à 9 pieds de haut. Ces cylindres sont allésés et calibrés aussi exactement qu'il est possible; un piston *b* de fonte de fer, se meut dans leur intérieur; il est environné de cuirs graissés ou huilés pour remplir exactement le contour.

Les pistons peuvent être mus de bas en haut A, ou de haut en bas B. Dans le premier cas, le piston contient deux grandes ouvertures *c,* sur lesquelles sont deux soupapes qui donnent entrée à l'air aspiré, et dans le fond supérieur du cylindre est ajustée une boîte *d,* qui recouvre une soupape qui donne issue à l'air expiré; cette boîte communique au porte-vent qui conduit l'air expiré dans le fourneau. Lorsque les pistons se meuvent de haut en bas B, les deux soupapes d'aspiration et d'expiration sont dans le fond inférieur du cylindre *c;* la seconde *d* est dans une caisse placée près de l'ouverture d'expiration, et de laquelle l'air est dirigé dans le porte-vent pour être conduit aux fourneaux.

Tout porte à croire que les premières machines soufflantes qui ont de grandes dimensions, ont été construites en fonte de fer, et que leur forme originaire est celle d'un cylindre : mais depuis l'instant où ces machines ont été connues, chacun s'est empressé de varier leur construction, et de les préférer aux soufflets en bois ordinaire.

L'inspecteur divisionnaire au Corps impérial des Mines, Baillet, a

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 15, page 225.

donné (1) une description des soufflets cylindriques dont il a observé les effets à Marche-sur-Meuse, près Namur. Ces soufflets C étaient en fonte; ils avaient 3 pieds 8 pouces de diamètre sur 30 pouces de haut; le piston, qui se mouvait dans l'intérieur, portait deux *clapets* pour aspirer l'air, et il était enveloppé d'une bande de cuir, afin de remplir exactement le vide. Cette machine était mue par une roue à aube. D'après les détails donnés par cet inspecteur, ce soufflet produisait 400 pieds cubes d'air, avec 80 pieds cubes d'eau, tombant de 10 pieds de haut.

348. Clouet fit construire, en 1795, dans les forges de Givone, près de Sedan, des soufflets en bois analogues aux machines soufflantes; ils en différaient en ce que leur prisme était quadrangulaire; ces machines soufflantes étaient mues par un âne.

M. Huard (2), alors directeur des Mines impériales de Guerigny, a fait exécuter, dans les forges qu'il dirigeait dans le département de la Nièvre, des machines soufflantes en bois D, dont la forme était un prisme quadrangulaire; ces machines ont été substituées avec beaucoup d'avantage aux soufflets en bois dont on se servait ordinairement. La dépense de deux de ces caisses était moitié environ de celle de deux soufflets de bois, et leur entretien annuel les $\frac{2}{5}$ seulement; enfin, selon le rapport de cet intelligent directeur, un appareil de deux de ces caisses remplaçait deux paires de soufflets d'affinerie et deux soufflets doubles. Ces six soufflets étaient mus par trois roues, et une seule mouvait les deux caisses; ainsi la dépense de deux caisses n'était que le sixième de celle des soufflets qu'elles remplaçaient. Leur entretien n'était que les $\frac{3}{15}$, et l'économie dans le cours d'eau et dans les machines hydrauliques était le tiers de celle des soufflets de bois. Ces sortes de soufflets produisaient 425 pieds cubes d'air, avec la même quantité d'eau qui en aurait fait produire 140 aux soufflets de bois.

---

(1) Journal des Mines, tome 3, n° 16, page 9.

(2) *Idem*, tome 7, page 105.

M. Huard pense que les machines cylindriques en fonte, semblables à celles que le savant et intelligent maître de forge, Rambourg, a fait exécuter dans ses forges de Tronçais, sont préférables à ses caisses carrées; et depuis 1797 que les caisses en bois ont été exécutées, elles sont généralement remplacées par des cylindres de fonte.

349. Les machines soufflantes sont donc exécutées en bois et en fonte; elles peuvent l'être aussi en pierres dures, en marbre; et, dans ce cas, il est nécessaire qu'elles soient carrées E, pour que l'exécution en soit plus facile. En effet, il suffit de faire tailler cinq dalles de pierre dure, de les faire dresser et polir. Quatre peuvent former les parois, et la cinquième le fond. Les premières dalles peuvent être retenues par des bandes de fer qui les entourent, et leurs joints peuvent être fermés par d'excellent mastic. Le fond doit être percé pour donner issue à l'air expiré; le piston des machines en pierre peut et doit même être en bois, garni de cuir, pour adoucir et diminuer le frottement. Dans les pays où la pierre dure est commune, où l'on scie, travaille et polit le marbre, ces caisses carrées peuvent être exécutées facilement et à très-bon marché.

DES RÉGULATEURS.

350. Les machines soufflantes ordinaires produisent un jet d'air alternatif; la caisse ou le piston mobile a deux mouvements; l'un d'aspiration et l'autre d'expiration. Pendant le premier mouvement, l'air est aspiré de toutes parts; loin donc de lancer de l'air dans le fourneau, elle en aspire quelquefois par la buse, lorsque cette dernière n'a pas de soupape; ce n'est que par le second mouvement (celui qui comprime l'air accumulé dans la caisse) que ce fluide élastique est chassé dans le fourneau.

Ce mouvement alternatif, produit par une seule machine, occasionne, dans la marche du fourneau, des irrégularités que l'on distingue par les ondulations qui se font apercevoir sur la surface des scories, du laitier et du fer, fondus et accumulés dans le creuset des hauts fourneaux. Les ouvriers ont donné, à ces ondulations, le nom de *pousse la taupe.*

Pour obvier à cet inconvénient, on accouple ces machines, et leur mouvement est ordonné de manière que l'une d'elles commence à expirer son air lorsque l'autre cesse d'en envoyer dans les fourneaux. On est donc parvenu, par ce moyen, à obtenir un jet d'air continu; mais, dans cette continuité, le jet présente encore une sorte d'irrégularité dont le travail est affecté, et il naît de là des ondulations sur les scories, qui, quoique moins fortes et moins considérables que celles qui ont lieu par l'action d'une machine soufflante seule, n'en est pas moins nuisible à un bon fondage. Cette irrégularité est produite par la différence de la compression que l'air éprouve dans la caisse pendant toute la durée de l'expiration. Il est même un instant, dans certaines usines, où les deux machines lancent de l'air simultanément, et un autre, où elles cessent d'en lancer; ce qui augmente considérablement l'irrégularité du jet d'air.

Dans les machines où l'air éprouve une faible compression, comme dans plusieurs soufflets de bois, l'irrégularité du jet d'air est déja assez considérable pour diminuer l'effet que l'on veut détruire : mais dans les machines d'une grande capacité, comme les cylindres de fonte qui lancent l'air dans les fourneaux à charbon de houille, cette irrégularité était trop forte pour que l'on ne s'occupât pas promptement d'y remédier; pour cela, on fit communiquer ces machines à un régulateur. O'Relly (1) croit que les belles machines des fonderies de Caron, en Ecosse, étaient d'abord à deux cylindres libres, qui lançaient leur air séparément dans le haut fourneau; mais que bientôt, pour corriger l'irrégularité dans la marche du fourneau que ces deux jets alternatifs occasionnaient, on les fit communiquer à un régulateur.

351. Les *régulateurs* sont des réservoirs particuliers et isolés dans lesquels on fait arriver l'air des machines soufflantes pour être, de-là, lancé dans le fourneau avec une vîtesse uniforme et continue.

Ils peuvent être divisés en trois classes : 1° régulateurs à eau; 2° régulateurs à frottement; 3° régulateurs à réservoir.

---

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 15, page 226.

352. Les *régulateurs à eau* sont formés d'une caisse placée dans un réservoir plein de ce liquide. Ce réservoir peut être une grande cuve de bois, ou de maçonnerie F, ou encore un bassin G dans lequel on a fixé, sur des madriers *m*, une caisse de bois ou de fonte *c* semblable à celle qui a été exécutée par M. John Laurie, près d'Edimbourg (1), et celle de Devon, près Muirkik en Ecosse (2). La caisse peut aussi être mobile H; mais dans ce cas elle est soulevée chaque fois qu'il entre de l'air, puis elle descend pendant qu'elle en fournit au fourneau, sans en recevoir de nouveau.

Ces réservoirs à air ont le défaut de lancer des jets de ce fluide élastique, variables avec la compression de l'air des caisses. Dans les premiers F, G, c'est l'eau qui comprime l'air dans le régulateur, et la force comprimante augmente chaque fois qu'il entre un volume d'air plus considérable que celui qui sort, et elle diminue pendant qu'il sort de l'air qui n'est pas remplacé. Dans les seconds H, c'est le poids de la caisse qui comprime l'air; mais sa pesanteur varie avec son élévation : la partie qui est plongée dans l'eau diminue de poids proportionnellement au volume d'eau qu'elle déplace; d'où il suit que plus il y a de parties de la caisse prolongées dans l'eau, plus elle est légère, et que moins elle est enfoncée dans ce liquide, plus elle est pesante. Ainsi les caisses mobiles plongées dans l'eau produisent aussi des variations dans la compression, et elles occasionnent des différences dans la vîtesse des jets d'air; mais ces variations sont beaucoup moins considérables que dans les caisses fixées. On pourrait même détruire ces inégalités dans la compression de l'air, en appliquant à la caisse I un contrepoids P, qui diminuerait sa pesanteur d'une quantité égale à celle qui est augmentée par sa sortie hors de l'eau. En effet, lorsque la caisse est suspendue à un lévier, si l'on fait C le poids de la caisse, L, la longueur du lévier qui lui correspond, P, le poids qui lui fait équilibre,

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 15, page 226.

(2) Beischreibung und theorie des Anglischen Cylinder Geblases vol. D. Joseph Baader, page 19.

l, la longueur de son bras de lévier, et π, la force avec laquelle l'air est comprimé, il faut que l'on ait $CL = Pl + \pi$; mais comme C diminue à mesure que la caisse s'enfonce dans l'eau, et qu'il augmente lorsqu'elle en sort, il s'ensuit que C est variable; et pour que la pression soit constante, il faut que l'on ait dans toutes les positions $C'L' = Pl + \pi$. Cet équilibre peut être obtenu de plusieurs manières différentes : de toutes celles que l'on peut mettre en usage, nous n'en présenterons qu'une.

On peut faire varier L et l, de manière que l'on ait $CL = Pl + \pi$; pour cela, on doit d'abord observer que l varie par le mouvement d'oscillation, et que cette longueur est donnée dans chaque position : quant à L', sa longueur peut être obtenue en construisant une courbe *abc*, telle que $C'L' = Pl' + \pi$, donc telle que l'on ait toujours $L' = \frac{Pl' + \pi}{C'}$.

353. Les *régulateurs à frottement* K, M, N, O, sont composés d'une caisse cylindrique ou carrée *a*, dans laquelle est placé un piston *b*, chargé d'un poids qui exerce, en descendant, une pression constante et uniforme. Celui du Creuzot, près Mont-Cenis, département de Saône-et-Loire, est un grand cylindre K, de fonte, isolé, qui communique à la machine soufflante par un tuyau *c*, qui amène l'air dans le cylindre; en arrivant il ouvre une soupape *d* pour entrer; il soulève le piston *b* pour occuper tout l'espace qui lui est nécessaire. L'air, en entrant dans le régulateur, se divise en deux parties; l'une sort par le porte-vent *f*, et l'autre remplit l'espace vide que l'élévation du piston a formé : lorsqu'il n'arrive plus de nouveau fluide, la soupape *d* est fermée par la compression de l'air intérieur, et celui-ci continue de sortir par le porte-vent *f*, avec un effort qui fait équilibre à la pression du piston *b*.

Le piston est percé d'une ouverture recouverte d'un poids *p*, qui comprime l'air avec une force qui doit faire équilibre au maximum du ressort que l'on veut obtenir, de manière que lorsque le piston, trop soulevé, est arrêté par les bords supérieurs du cylindre, l'air qui continue à entrer augmentant encore son action, parvient à exercer, sur l'ouverture, un effort égal au poids *p*, alors l'air le soulève et s'échappe.

Par ce moyen, on évite tous les dangers qu'une trop forte compression pourrait faire craindre.

L'air éprouve, par son ressort dans les régulateurs à frottement, une variation de pression plus considérable que dans les régulateurs à eau. Cette variation peut être estimée le double de l'effort que le frottement du piston occasionne. En effet, lorsque l'air entre et qu'il soulève le piston, l'effort exercé est égal au poids du piston, plus le frottement qu'il faut vaincre; lorsque l'air cesse d'entrer et qu'il n'est plus comprimé que par le poids du piston, l'effort exercé est égal au poids du piston, moins le frottement qu'il doit vaincre en descendant. Quoiqu'il en soit de cette défectuosité, ces pistons sont fréquemment employés aujourd'hui, et assez généralement préférés à ceux des autres espèces, même des caisses à eau.

354. On peut appliquer, dans les machines soufflantes à double effet, un régulateur simple et sans piston N; les fonds supérieur *a,* et inférieur *d*, ont une soupape d'aspiration : celle du fond supérieur se ferme par le moyen d'un contrepoids *p;* le piston, en montant, aspire l'air dans la partie inférieure et l'expire, par la partie supérieure *h*, dans le régulateur; de même, lorsque le piston baisse, l'air est aspiré dans la partie supérieure *e,* et l'air expiré, par la partie inférieure *k,* entre dans le régulateur.

En plaçant dans le cylindre même O deux pistons *b, c*, qui se meuvent en sens contraire, on peut produire l'effet des régulateurs. Lorsque les deux pistons s'avancent l'un vers l'autre, l'air qui se trouve entre eux est chassé dans la partie supérieure; et, comme l'espace vide qui s'y forme est moitié de l'espace qui séparait les deux pistons, l'air qui entre est comprimé; il sort en partie par l'ouverture du porte-vent *f* placé dans le fond supérieur. Lorsque les deux pistons s'écartent l'un de l'autre, les soupapes du piston inférieur *c* s'ouvrent pour permettre à l'air d'entrer dans l'espace vide qui vient de se former, et le piston supérieur *b,* en s'élevant, comprime l'air de la partie supérieure, et le force de nouveau à sortir par le porte-vent; ainsi ces sortes de machines produisent bien un jet continu; mais l'air éprouve, dans ses mouve-

ments, des compressions différentes qui l'obligent à sortir avec plus ou moins de vîtesse, ce qui doit faire préférer les régulateurs isolés et séparés des machines soufflantes.

Les personnes qui desireront avoir de plus grands détails sur les machines à cylindres et sur les régulateurs qui les accompagnent, peuvent consulter la description et l'excellente théorie des soufflets cylindriques anglais de M. Baader (1), que nous avons traduites et fait imprimer dans le Journal des Mines (2).

355. Les *régulateurs à réservoir* sont de vastes cavités, de grands espaces fermés hermétiquement, dans lesquels l'air des machines soufflantes entre en soulevant une soupape, tandis que l'air comprimé est lancé avec un effort constant, ou du moins peu variable.

Un de ces régulateurs existait près des forges de Davon, en Ecosse (3): c'était une cave Q de 72 pieds de long sur 14 de large et 13 de haut, contenant au-delà de 13,000 pieds cubes. La machine qui entretenait ce réservoir produisait 155 pieds cubes d'air par son mouvement; donc la quatre-vingt-quatrième partie environ du volume contenu dans le réservoir. L'air conservé sortait par un orifice *b*, constamment ouvert, tandis qu'il n'entrait que par intervalles par une autre ouverture *c*; mais la masse d'air qui entrait à chaque mouvement du piston était si petite, relativement à la masse contenue dans le réservoir, que les variations dans la pression, occasionnées par les intermittences, n'étaient pas susceptibles d'appréciation. Il paraît, d'après les observations faites dans ces caves, par M. Roebuck, que l'air qu'elles contiennent y est constamment saturé d'eau qui filtre à travers la maçonnerie; car, quoique la compression de l'air dans les caves de Davon, d'après l'observation, fût jugée n'équivaloir qu'à une colonne d'eau de 5 à 6 pouces au plus,

(1) Beyschreibung und theorie des Anglischen Cylinder Geblases. Munich, 1808, chez Joseph Londaw.

(2) Journal des Mines, tome 15, pages 1 et 161.

(3) Annales des Arts et Manufactures, tome 3, page 31.

aussitôt que l'on arrêtait la machine, et qu'il n'entrait plus de nouvel air pour remplacer celui qui sortait par le porte-vent, on voyait se former un brouillard épais dans la cave; mais à peine la machine avait-elle joué pendant quelques minutes, que l'air se rétablissait dans l'état de limpidité et de transparence.

Lorsque ces sortes de régulateurs peuvent être établis dans un emplacement sec, et que l'air qui y séjourne ne trouve point d'humidité avec laquelle il puisse se combiner, ils présentent de grands avantages, et par leur simplicité, et par leur effet.

M. Mushet propose, comme un moyen d'améliorer ces sortes de régulateurs, de remplir la cave d'eau et de la couvrir d'une grande et large caisse; il a donné à ces nouveaux régulateurs le nom de *cave à eau;* mais on verra par la suite que ses intentions n'ont pas été remplies, et que ce qu'il proposait comme une amélioration, concourait au contraire à les rendre plus défectueux.

356. On a vu précédemment que la vîtesse de l'air, lancé dans les hauts fourneaux, devait varier avec la hauteur du fourneau et la dureté du charbon. Le moyen le plus certain pour faire varier cette vîtesse, est d'employer des régulateurs, puisque l'on peut, par leur moyen, augmenter ou diminuer la pression de l'air chassé. Dans les caves à air, il suffit d'augmenter ou de diminuer l'ouverture de l'orifice par où sort l'air; car, au bout d'un temps, il sortira toujours une quantité d'air égale à celle qui entre; mais sa vîtesse et sa pression seront d'autant plus fortes que l'orifice sera plus petit; puisque, si l'on fait D la quantité d'air fournie par les machines soufflantes, V la vîtesse, O l'orifice, et P, la pression de l'air dans la cave, on a $Q = VO$, mais V est proportionnel à $\sqrt{P}$; donc $Q = O\sqrt{P}$; donc si l'on se donne la quantité d'air que la machine aspire dans une minute, V, la vîtesse qu'il doit avoir, ou P, la pression qu'il doit supporter, on aura $O = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\sqrt{P}}$.

DÉTERMINATION DE LA QUANTITÉ D'AIR PRODUIT PAR CHAQUE MACHINE SOUFFLANTE.

357. On peut déterminer de deux manières différentes le volume de l'air que produit chaque machine soufflante : 1° en mesurant la quantité de ce fluide élastique, qui entre dans les soufflets à chaque aspiration; 2° en déterminant la vîtesse que l'air acquiert en sortant par un orifice dont on connaît la surface; chacune de ces méthodes a une application particulière, selon la nature et l'espèce de machine dont on fait usage. Il y a donc deux manières de mesurer l'air lancé par les machines soufflantes : 1° par le volume de l'air aspiré à chaque mouvement; 2° par la vîtesse constante et uniforme avec laquelle l'air sort par une ouverture donnée.

DE LA QUANTITÉ D'AIR QUE LANCENT LES MACHINES SOUFFLANTES, DÉTERMINÉE PAR LE VOLUME D'AIR QU'ELLES ASPIRENT.

358. L'air est aspiré dans ces machines par le moyen du vide que forme le mouvement du volant de la caisse mobile ou des pistons; l'air extérieur soulève la soupape et entre avec précipitation pour remplir l'espace vide : si donc on peut avoir le volume de l'espace formé dans chaque aspiration, on pourra, en le multipliant par le nombre d'aspirations, dans un temps donné (dans une minute, par exemple), connaître la quantité d'air atmosphérique que ces machines aspirent.

Quoique les machines soufflantes soient susceptibles d'avoir des formes très-variées, on ne déterminera cependant, dans cette section, que le volume de l'air lancé par les trois espèces de machines que l'on emploie le plus ordinairement, qui sont : les soufflets en bois, les caisses carrées et les cylindres.

359. Le vide des soufflets en bois est formé par un plan ou une caisse trapézoïdale qui se meut sur un boulon placé sur le petit côté du trapèze, et qui lui sert d'axe d'oscillation; le volume engendré par ce mouvement a la forme d'un coin trapézoïdal B (planche 27), que l'on

peut diviser en trois parties D, par deux plans perpendiculaires à la base, et menés des deux extrémités du petit côté *ef:* on obtient, par ce moyen, deux pyramides et un coin quadrangulaire. Ces deux pyramides *a, b,* égales et semblables, ont chacune un volume égal à celui de leurs bases multipliées par le tiers de leurs hauteurs, et le coin C, parallélogramique, est égal à sa base *gh,* multipliée par la moitié de sa hauteur *ik :* ainsi, en nommant *s,* la base de chaque pyramide, S, celle du coin, *h,* la hauteur commune; le volume de l'espace vide $= \frac{2Sh}{3} + \frac{sh}{2} = \frac{4S+3s}{6} h$.

Si le volant avait 90 pouces de long, 42 de large à un bout, et 14 à l'autre, que son élévation fût de 14 pouces, la base S du coin serait de $14 \times 14 = 196$ pouces, et celle des pyramides *s* serait de $\frac{42-14}{2} \times 14 = \frac{28}{2} . 14 = 14 \times 14 = 196$ pouces, la longueur $h = 90$ pouces; on aurait donc $\frac{4S+3s}{6} h = \frac{4 \times 196 + 3 \times 196}{6} \times 90 = 20580$ pouces cubes.

Bouchu (1), en supposant les mêmes dimensions à son soufflet, porte le volume à $20151 \frac{1}{3}$. Cette différence peut provenir de ce que le vide inférieur des soufflets ne comprend pas tout le volume du coin trapézoïdal que peut former le mouvement du volant, parce que le triangle *d,* qui presse contre ce volant, près de la têtière, produit une troncature *l* au coin trapézoïdal, qui est remplie par une partie de la têtière, et le volume de cette troncature doit être diminué de celui de l'espace que l'on a considéré et que l'air remplit à chaque aspiration. En supposant donc que le vide formé dans chaque mouvement du soufflet fût de $20151 \frac{1}{3}$ pouces cubes, ce qui équivaudrait à 11,66 pieds cubes, comme ces soufflets ont ordinairement 14 aspirations par minute, ils produiraient, dans cet intervalle, 163,24 pieds cubes d'air, et pour les deux soufflets 326,48 pieds cubes. Plusieurs soufflets de hauts fourneaux ayant jusqu'à 14 pieds de long, il résulterait, de ce mode de calcul, qu'ils aspireraient

(1) Art des forges, section II, . 2e partie, article 2.

chaque fois 30,30 pieds cubes d'air (1); et comme ils ont 312 aspirations par heure, ou 5,2 par minute, le volume d'air lancé dans ce court intervalle, par chaque soufflet, doit être de 159 pieds cubes, et pour les deux de 318 (2).

360. La quantité d'air lancée par les machines soufflantes qui ont la forme d'un prisme quadrangulaire A, se mesure avec beaucoup plus de facilité; le volume du vide, occasionné par le mouvement du piston, est égal au produit de sa surface multipliée par la hauteur de son mouvement, ou bien au produit de ses deux côtés par la hauteur que parcourt le piston. Soit A et B les longueurs des deux côtés du piston, et H la hauteur de son mouvement, le volume de l'espace qu'il engendre $= ABH$. Si nous appliquons cette formule aux anciennes machines soufflantes quadrangulaires de Guerigny (3), nous aurons $A = 33$ pouces, $B = 33$ pouces, $H = 27$ pouces; donc $ABH = 17$ pieds cubes; et comme ces machines ont, à elles deux, 25 élévations par minute, elles aspirent 425 pieds cubes d'air.

---

(1) Grignon, Mémoire de physique sur l'Art de fabriquer le fer, page 226.

(2) Faisant $a =$ le petit côté ef, du coin trapézoïdal,
$b =$ le grand côté mn,
$h =$ la hauteur du trapèze eg,
$m =$ l'élévation ik, du grand côté mn;
on peut, en supposant la surface terminée par un plan, exprimer le volume V, par cette formule : $V = mh \cdot \frac{2b + a}{6}$.

Mais, comme le trapèze $efnm$ se meut sur un axe ef, le côté mn doit engendrer un cylindre. Si l'on voulait tenir compte de la petite différence que produit la courbure de cette surface de révolution, on aurait $V = \pi \frac{2b + a}{6} h^2 \cdot \frac{A}{180}$.

π, représentant le rapport de la circonférence au diamètre, et A, le nombre de degrés dont le trapèze a tourné autour de son petit côté.

Mais cette exactitude devient inutile, parce que la quantité d'air que l'on obtient, par l'une ou l'autre méthode, est beaucoup plus considérable que celle qui est aspirée par le soufflet, et conséquemment que celle qui est lancée dans le fourneau, ainsi qu'on va le voir dans la suite de cette section.

(3) Journal des Mines, 7e volume, page 105.

361. La quantité d'air produite par les machines à cylindre C, c'est-à-dire, le vide ou le volume du vide qu'il se forme, est égale à la surface du piston multipliée par la longueur de son mouvement; la surface du piston est égale au carré de son rayon multiplié par le rapport existant entre le diamètre d'un cercle et sa circonférence. Soit 2R le diamètre du piston, π, le rapport de la circonférence au diamètre, H, l'espace que le piston parcourt dans chacun de ses mouvements, le vide qu'il forme $= \pi R^2 H$.

La machine soufflante du Creuzot (1) a 5 pieds et demi de diamètre, la levée du piston est de 7 pieds; donc $R = 2^{\text{pi.}},75$; $H = 7^{\text{pi.}}$; supposant $\pi = \frac{22}{7}$, on a $\pi R^2 H = 166$: la vîtesse de cette machine est de quinze coups par minute; donc elle devrait produire 2495 pieds cubes dans ce court intervalle.

Observations sur ce mode de calcul.

362. Ces manières de calculer la quantité d'air que produisent les machines soufflantes, et qui sont indiquées comme exactes par tous ceux qui ont cherché à déterminer le volume d'air qu'elles produisent, donnent toutes des résultats beaucoup plus forts que ceux que l'on obtient par l'expérience. La différence entre la quantité obtenue par le calcul et celle que donne l'expérience, est occasionnée par les variations dans la pression que l'air éprouve dans les deux mouvements d'aspiration et d'expiration. Pour aspirer de l'air, il faut que celui de la caisse exerce sur la soupape E une pression moindre que celle de l'air extérieur; car ce n'est qu'en vertu de cette différence qu'elle peut être soulevée: ainsi, si l'on suppose le poids d'un pied carré de la soupape $= \pi$, et celui de la colonne d'air extérieur, d'un pied carré de surface, $= P$, on aura le rapport des densités de l'air extérieur et intérieur. $D : d :: P : p - \pi$, d'où $d = \frac{P - \pi}{P} . D$; et comme, sous une même pression, les volumes sont proportionnels aux densités, le volume V de l'air de la caisse,

(1) Journal des Mines, n° 16, tome 3, page 19.

lorsque la soupape est soulevée, serait au volume v, s'il était ramené à la densité de l'atmosphère :: D : d; il s'ensuit que $v = V . \frac{P - \pi}{P}$; mais lorsque le volant des soufflets, ou les pistons des caisses s'abaissent pour faire expirer l'air, ils le compriment, et la densité de l'air intérieur étant plus grande que celle de l'air extérieur, le volume se trouve diminué, et cela en raison inverse des densités, ou, ce qui est la même chose, des poids comprimants. Si tout l'air sortait pendant cette plus forte compression, et avant que le volant ou le piston ne s'éloigne du diaphragme pour aspirer de nouvel air, il en résulterait que cette variation dans la compression serait indifférente pour déterminer la quantité d'air sortie; elle serait constamment égale au volume aspiré; mais presque toujours le volant ou le piston se meut en sens contraire, c'est-à-dire, qu'il revient sur lui-même pendant qu'il reste encore de l'air comprimé dans la caisse; et en s'éloignant ainsi du diaphragme, pour augmenter l'espace intérieur, il dilate l'air resté; celui-ci, ainsi dilaté, remplit une partie de l'espace qu'aurait occupé l'air aspiré, s'il n'y avait pas eu de condensation. Cette aspiration, avant l'expulsion totale de l'air, diminue donc le volume de celui qui entre, de tout l'espace que remplit l'air qui reste au moment où la soupape se lève pour permettre l'entrée à de nouvel air aspiré. La condensation de l'air pendant l'expiration, et sa raréfaction avant l'expiration, offre deux effets dont il faut tenir compte dans la détermination du volume de l'air, chassé dans le fourneau, dans chacun de ses mouvements.

Si la surface du volant ou du piston touchait exactement le fond des machines soufflantes, tout l'air comprimé serait obligé de sortir; celui qui resterait n'étant qu'un infiniment petit de la masse contenue dans la caisse, pourrait être négligé, et il suffirait de connaître le poids et les dimensions de la soupape, pour déterminer le rapport dans lequel le volume d'air aspiré doit être diminué pour le ramener à la pression de l'atmosphère; mais rarement le fond des machines soufflantes est touché par le piston ou le volant, il reste toujours un espace rempli d'air comprimé, dont le volume peut être déterminé d'après la forme

de la machine soufflante, et cela en faisant usage de l'une des formules qui ont été indiquées.

En appliquant au fond des machines soufflantes, dans l'espace qui n'est pas touché par les pistons ou les volants, un instrument semblable à celui avec lequel on mesure le ressort de l'air dans les trompes, et que l'on va faire connaître en traitant de la seconde manière de mesurer le volume d'air lancé par ces machines, on peut apprécier, par le moyen d'une colonne d'eau, quelles variations, dans sa densité, l'air éprouve dans ses mouvements d'aspiration et d'expiration. Soit v, le volume de l'espace qui reste, dans les machines soufflantes, entre le piston ou le volant, et le fond de ces machines; V, le vide formé par le mouvement de va et vient des pistons de ces premières; P, la pression de l'atmosphère; $P + p$, la pression de l'air comprimé dans l'espace v; $P - \pi$, la pression de l'air dans la machine au moment de l'aspiration. Le volume de l'air restant et comprimé à la fin de l'expiration, est au volume qu'il occupe au moment où l'air aspiré va entrer, en raison inverse des compressions. Si v', est ce volume, on aura $v : v' :: P - \pi : P - p$; donc $v' = v . \frac{P + p}{P - \pi}$: donc l'air dilaté occupe, dans l'espace V, produit par le mouvement du volant ou du piston, un volume $= v . \frac{P+p}{P-\pi} - v = v\left(\frac{P+p}{P-\pi} - 1\right)$; et l'air entrant, qui n'éprouvera qu'une compression de $P - \pi$, sera égal à $V - v\left(\frac{P+p}{P-\pi} - 1\right)$; ce volume sera à celui u, qu'il occuperait sous la pression de l'atmosphère :: $P : P - \pi$; donc on aura $V - v\left(\frac{P+p}{P-\pi} - 1\right)$ $: u :: P : P - \pi$. Si $P = 384$, $p = 8$, $\pi = 6$, on aura.......
$u = \left\{V - v\left(\frac{P+p}{P-\pi} - 1\right)\right\}\left(\frac{P-\pi}{P}\right) = \left\{V - v\left(\frac{392}{378} - 1\right)\right\}\left(\frac{378}{384}\right) =$
$(V - 0{,}037037 . v)(0{,}9843) = 0{,}9843\,V - 0{,}036356\,v$.

Il est facile de conclure de cette réduction dans le volume de l'air aspiré par les machines soufflantes, qu'il peut exister entre le volume de l'air condensé et celui du vide formé par le volant ou le piston, un

rapport tel qu'il n'entrera point d'air dans l'espace vide, et enfin que la quantité d'air aspirée sera toujours en raison inverse du volume, ou de l'espace qui restera dans chaque machine soufflante après la compression; et, comme les soufflets de bois ont aussi leur *gist* composé d'une caisse qui retient un volume considérable d'air condensé; que leur volant ne peut jamais toucher le fond, tandis que les machines carrées ou cylindriques peuvent être construites de manière que le fond puisse être touché par le piston, il en résulte que ces sortes de machines ont un avantage considérable sur les soufflets de bois, et cela relativement au volume d'air qu'elles lancent.

DE LA MANIÈRE DE MESURER L'AIR DANS LES MACHINES, PAR LA VÎTESSE UNIFORME ET CONSTANTE AVEC LAQUELLE IL SORT.

363. La quantité ou le volume d'air que produisent les machines soufflantes, dans un temps donné, est proportionnel au produit de la vîtesse de l'air, ou de l'espace qu'il parcourt dans ce temps, multiplié par l'ouverture de cet orifice (1), qui, lui-même, peut toujours se mesurer sur la machine. Quant à la vîtesse, elle peut être déterminée par la pression que l'air éprouve; car *les vîtesses sont comme les racines carrées des pressions* (2). Ainsi, pour avoir cette vîtesse, il faut connaître, par une expérience exacte, la pression que l'air exerce contre les parois du réservoir qui le contient.

On détermine cette pression, dans le réservoir, de deux manières: 1° par l'effort qu'il faut opposer à une ouverture G, H, I, pour empêcher l'air de sortir; 2° par la hauteur d'une colonne de liquide K, L, M, N, qui fait équilibre à cette pression. La première manière a été employée par Mariotte et Huyghens; aujourd'hui on suit assez généralement la seconde.

364. Pour faire usage de la première méthode, on pose sur l'ouver-

(1) Hydrodinamique de Bossut, §. 236.

(2) *Idem*, §. 241.

ture *a* un plan *b* contre lequel on exerce une pression égale à celle que fait l'air pour sortir; cette pression peut être évaluée de plusieurs manières différentes. De toutes celles que l'on peut employer, nous nous contenterons de décrire celle que Mariotte indique.

Si l'ouverture *a* est faite sur un plan vertical G, on lui applique l'extrémité *b* d'un lévier coudé à angle droit. Sur l'autre extrémité *c*, et à une même distance du point d'appui, on place des poids jusqu'à ce que l'équilibre soit établi entre la force exercée par l'air sortant et le poids qui ramène le lévier vers l'ouverture.

Lorsque cette ouverture *a* est faite sur un plan horizontal H, le lévier dont on fait usage doit être droit, et doit avoir son point d'appui au milieu de sa longueur.

Comme il est nécessaire, pour comparer le ressort de l'air observé dans différentes machines soufflantes, que l'effort soit rapporté à celui qui aurait lieu sur une ouverture donnée (d'un pouce carré par exemple), on peut toujours ramener le résultat obtenu par l'expérience, à celui qui aurait eu lieu sur l'ouverture construite, en faisant usage d'une simple proportion.

Soit O cette ouverture; P, la pression qui doit y correspondre; ω, l'ouverture sur laquelle l'expérience a été faite; π, la pression qui y correspondait, on a $\omega : \pi :: O : P$; donc $P = \frac{O}{\omega} . \pi$.

365. En employant la seconde méthode, il faut établir une communication entre l'air comprimé et l'air atmosphérique, par le moyen d'un tube recourbé et rempli d'eau.

Le moyen le plus simple consiste à appliquer contre une des faces du réservoir, dans lequel l'air est comprimé, un tube de verre recourbé, à deux branches verticales K, lorsqu'il communique par la partie supérieure, et à trois branches, aussi verticales I, lorsqu'il communique par la partie inférieure. La différence du niveau des colonnes de liquide contenu dans les deux branches, indique la différence qui existe dans les pressions extérieure et intérieure : elle est toujours plus forte du côté où la colonne est la plus basse.

Ces sortes de *mesures-densité de l'air,* que l'on pourrait appeler *aérodensigrade,* sont assez généralement en usage, lorsqu'ils doivent être fixés sur les réservoirs, afin d'indiquer dans tous les instants les variations qu'éprouve le ressort de l'air; mais lorsqu'ils ne doivent servir qu'instantanément, pour faire une observation passagère, on leur donne une autre forme.

M. Vergnies Bouischère a imaginé un de ces instruments portatifs auquel il a donné le nom d'*anémomètre à eau,* ou mesure-vent par le moyen de l'eau (1). Il est composé d'un cylindre *a* de fer blanc, fig. M, de 5 pouces de diamètre sur 6 pouces de haut, d'un tuyau vertical de fer blanc *b*, de 8 à 9 pouces de haut, plongé jusqu'à quelques lignes du fond. Ce tuyau est fixé à la partie supérieure du cylindre; un tube de verre est soudé dans ce tube métallique; un second tube de fer-blanc *c,* recourbé, est aussi fixé sur le même fond; c'est par ce tube que l'on place l'instrument dans une ouverture *d* faite dans les parois supérieures du réservoir d'air, ou dans le porte-vent qui y communique. Le cylindre étant plein d'eau, l'air du réservoir arrive, par le tube recourbé, sur la surface du liquide; il la presse par son ressort, et fait monter, dans le tube de verre, une colonne d'eau qui lui fait équilibre.

M. Banck, professeur de physique en Angleterre, a proposé, pour mesurer le ressort de l'air, un instrument N (2), auquel le traducteur a donné le nom de *ventimètre* ou *mesure-vent.* Cet instrument est un peu plus commode que celui de M. Vergnies; il en diffère cependant en ce que le tube *c* que l'on fixe dans la caisse ou dans le porte-vent, est droit, qu'il est soudé sur le fond inférieur du cylindre *a,* qu'il se prolonge jusqu'à quelques lignes du fond supérieur, et que celui qui supporte le tube de verre *b* est coudé et soudé sur une des faces latérales près du fond inférieur. L'air du réservoir communique avec la surface supérieure de l'eau par le tube vertical; il exerce sur l'eau une

---

(1) Journal des Mines, tome 16, pages 39 et 40.

(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 14, page 26.

pression qui fait élever ce liquide dans le tube de verre, jusqu'à ce que la colonne élevée fasse équilibre au ressort du fluide élastique.

Rapport entre les deux méthodes de mesurer le ressort de l'air.

366. Par la première méthode, on mesure le ressort de l'air à l'aide d'un poids qui fait équilibre à l'action que l'air exerce sur une surface donnée. Dans la seconde, on fait usage de la hauteur de la colonne d'eau dont la pesanteur fait équilibre à la pression qu'exerce le ressort de l'air sur la surface du liquide : ainsi les deux méthodes procurent le même résultat; mais si l'on voulait transformer le résultat obtenu par l'une des méthodes, en un résultat obtenu par l'autre, on pourrait y parvenir par ce moyen : le poids du volume d'eau que donne le produit de la surface de l'ouverture, multiplié par la hauteur de la colonne et par sa densité, est égal à la pression exercée contre cet orifice. Soit donc O cette ouverture exprimée en pouces carrés; h, la hauteur exprimée en pouces; p, le poids d'un pouce cube d'eau, et P, la pression exercée par l'air sur l'orifice, on aura $P = Ohp$.

Le pied cube d'eau pèse 70 livres, ou 645120 grains, et le pouce cube $\frac{645120}{1728} = 373,3$ grains; donc $P = 373,3 \times hO$. Si $h = 8$ pouces, et $O = 4$ pouces carrés, on aura $P = 373,3 \times 8 \times 4 = 10946,6 =$ 1 livres 3 onces 0 gros 26 grains.

Si, au contraire, on avait déterminé la pression avec des poids, et que l'on voulût connaître la hauteur de la colonne d'eau qui y correspond dans l'équation $P = 373,3 . hO$, on tirerait $h = \frac{P}{373,3 . O}$; soit 1 livre 13 onces 1 gros 9 grains la pression déterminée par l'expérience, sur une ouverture de 3 pouces carrés, on aurait $P = 17785$; $O = 3$: donc $h = \frac{17785}{373,3 \times 3} = \frac{11785}{1120} = 15^{po.}\ 10^{li.},55$.

On a construit deux tables, d'après ces données : dans l'une, on conclut la hauteur de la colonne d'eau, d'après sa pression, sur une ouverture d'un pouce carré; dans l'autre, la force du ressort que l'air exerce sur une ouverture d'un pouce carré, déduite de la hauteur de la colonne d'eau.

HAUTEUR DES COLONNES D'EAU CORRESPONDANTES AUX POIDS.			POIDS CORRESPONDANTS AUX HAUTEURS DES COLONNES D'EAU.					
POIDS.		Hauteur des colonnes d'eau.	Hauteur des colonnes d'eau.		POIDS.			
liv.	onces.	pouc.	pieds.	pouc.	liv.	onc.	gr.	grains.
»	1	1,54.	»	1	0	0	5	40.
»	2	3,08.	»	2	0	1	3	8.
«	3	4,63.	»	3	0	2	0	48.
»	4	6,17.	»	4	0	2	6	16.
»	5	7,71.	»	6	0	4	1	24.
»	6	9,256.	»	8	0	5	4	32.
»	8	12,34.	»	10	0	6	7	40.
»	10	15,428.	1	0	0	8	2	48.
»	12	18,51.	1	3	0	10	3	24.
1	0	24,68.	1	6	0	12	4	0.
1	4	30,85.	1	9	0	14	4	48.
1	8	37,028.	2	0	1	0	5	24.
1	12	43,199.	2	6	1	4	6	48.
2	0	49,37.	3	0	1	9	0	0.
»	»	» »	3	6	1	13	1	24.
»	»	» »	4	0	2	1	2	48.

Détermination du volume d'air lancé par les machines, lorsque l'on connaît sa pression dans les réservoirs, et l'ouverture de l'orifice.

367. Si l'on appelle g la force accélératrice constante, en vertu de laquelle les corps tombent sur la surface de la terre; h, la hauteur d'un liquide qui presse sur lui-même; u, la vitesse qu'ils acquièrent par ces deux actions; on a (1) $u = \sqrt{2gh}$.

La pression de l'atmosphère fait équilibre à une colonne d'eau de 32 pieds; ainsi, en supposant que cette vitesse indiquât celle de l'eau

(1) Mécanique de Francœur, 2e édition, page 402.

s'écoulant dans le vide, avec la pression de l'atmosphère, on aurait $h=32$ pieds.

Mais si l'on veut connaître la vîtesse de l'écoulement de l'air dans le vide, on déterminera la hauteur de la colonne d'air d'une densité égale à celle qui existe à la surface de la terre, en faisant usage de la loi, que les hauteurs des colonnes qui exercent des pressions égales sont en raison inverse de leurs densités. Si donc $\Delta =$ la densité de l'eau, δ celle de l'air, et que H soit la hauteur de la colonne d'air, on aura $H : h :: \Delta : \delta$. Donc $H = h\frac{\Delta}{\delta}$; et comme, pour les vîtesses de l'air, la formule est $u=\sqrt{2gH}$, elle deviendra $u=\sqrt{2gh.\frac{\Delta}{\delta}}$.

Jusqu'ici nous avons considéré l'écoulement du fluide dans le vide; mais s'il se fait dans un milieu, celui-ci exercera une résistance. Soient deux vases V, X, qui se communiquent par une petite ouverture a, que ces vases soient constamment remplis, chacun en particulier, d'un fluide d'une densité uniforme; que dans le premier la densité du fluide $=m\delta$, et dans le second $=\delta$; soit $y =$ la hauteur de la colonne du liquide δ, qui fait équilibre à celle de $m\delta$: en comprimant cette colonne, dont la densité est δ, jusqu'à ce qu'elle soit ramenée à une hauteur correspondante à celle de $m\delta$, elle sera diminuée dans le rapport de $m\delta$ à δ. Soit x cette nouvelle hauteur, on aura cette proportion $x : y :: \delta : m\delta$; donc $x=\frac{y}{m}$.

Cela posé, si l'on suppose que le fluide soumis à la pression y s'écoule dans le vase soumis à la pression x, on aura pour la vîtesse de l'écoulement, $v=\sqrt{2g(y-x)}$; mettant dans cette équation, pour x, sa valeur en y, c'est-à-dire, $x=\frac{y}{m}$, on aura $v=\sqrt{2g\left(y-\frac{y}{m}\right)}$........ $=\sqrt{2gy\left(1-\frac{1}{m}\right)}$; d'où l'on tire $m=\frac{2gy}{2gy-v^2}$; mais comme y peut être la hauteur de la colonne d'air d'une densité uniforme, et qu'elle est égale à celle qui a lieu dans le cylindre où ce fluide élastique est com-

primé, elle égale $h.\frac{\Delta}{\delta}$ (1); ainsi $m=\frac{2gh\frac{\Delta}{\delta}}{2gh\frac{\Delta}{\delta}-v^2}$ et $v=\sqrt{2gh.\frac{\Delta}{\delta}\left(1-\frac{1}{m}\right)}$. Lorsque les pesanteurs des colonnes sont différentes, les hauteurs des colonnes d'un même fluide sont comme les poids, et lorsqu'elles sont exercées sur des fluides élastiques, les hauteurs sont comme leur densité. Si δ et $m\delta$ sont les densités des fluides élastiques, h et $h+z$, les hauteurs des colonnes qui les produisent, on aura $\delta : m\delta :: h : h+z$; d'où $h+z=mh$ et $z=h(m-1)$; donc encore $z=h\left(\frac{2gh\frac{\Delta}{\delta}}{2gh\frac{\Delta}{\delta}-v^2}-1\right)$ $=h\frac{v^2}{2gh\frac{\Delta}{\delta}-v^2}$; $v=\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}.\frac{z}{h+z}}=\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}\times\sqrt{\frac{z}{h+z}}$. Si l'on fait $\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}=C$, on aura $v=C\sqrt{\frac{z}{h+z}}$. Comme la quantité d'air Q lancée dans un temps donné $=Ov$, elle égale donc $CO\sqrt{\frac{z}{h+z}}$.

L'air, sortant par l'orifice O est supposé avoir la densité qu'il éprouve dans le réservoir; mais afin de comparer entre eux tous les volumes d'air lancé par les machines soufflantes, il faut les rapporter à une densité constante. Soit P la hauteur de la colonne de mercure qui indique cette pression; π, celle qui comprime l'air dans le réservoir, les volumes d'une même masse étant en raison inverse des pressions, on a $V' : V :: \pi : P$; donc $V'=V\frac{\pi}{P}$; donc $Q=CO\sqrt{\frac{z}{h+z}}.\frac{\pi}{P}$, la constante $C=\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}$ peut être facilement dé-

(1) Soit P la pression de l'air atmosphérique, sa hauteur H; soit P' celle de l'air comprimé, sa hauteur y; soit δ et $m\delta$ les densités de l'air dans ces deux circonstances, on a $H : \frac{P}{\delta} :: y : \frac{P'}{m\delta}$; mais le poids des colonnes d'une même hauteur est comme la densité des fluides; ainsi $P : P' :: \delta : m\delta$, d'où $P'=mP$. Ainsi $H : \frac{P}{\delta} :: y : \frac{mP}{m\delta}=\frac{P}{\delta}$; donc $H=y=h\frac{\Delta}{\delta}$.

terminée en faisant $g =$ la vîtesse des corps, après une seconde de leur chûte $= 30$ pieds (1), $h =$ la hauteur de la colonne d'eau qui fait équilibre à la pression de l'atmosphère $= 32$ pieds et $\Delta : \delta$ le rapport des densités de l'eau à l'air :: 800 : 1, on a $\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}} = \sqrt{60 \times 32 \times 800}$ $= \sqrt{1536000} = 1222^{pi.} 6^{po.} 5^{lig.}$; ainsi $CO\sqrt{\frac{z}{h+z} \cdot \frac{\pi}{P}} = (1222^{pi.} 6^{po.} 5^{lig.}) \times O\sqrt{\frac{z}{h+z} \cdot \frac{\pi}{P}}$.

Si, au moment où l'observation a lieu, le baromètre indiquait 27 pouces 3 lignes ; si la pression dans la machine soufflante faisait équilibre à une colonne d'eau de 25 pouces; comme la densité du mercure $= 1337$, l'eau étant 100, on aurait pour la colonne d'eau qui ferait équilibre à 27 pouces 3 lignes de mercure, $369^{po.} 9^{lig.} 5$; donc $h = 369^{po.} 9^{lig.} 5 = 369^{po.} 79$; $h + z = 394^{po.} 79$, $P = 379, 96$, et $\pi = 394, 79$. Si l'on fait $O =$ un pouce carré, l'équation $Q = CO\sqrt{\frac{z}{h+z} \cdot \frac{\pi}{P}} = (1222^{pi.} 6^{po.} 5^{lig.}) \times \sqrt{\frac{25}{394,79} \times \left(\frac{394,79}{379,96}\right)} = (1222^{pi.} 6^{po.} 5^{lig.}) \times 0,23 = 282$ pouces cubes, et une ligne carrée $= 1^{pi.} 138^{po.} 1^{lig.}$ cubes par seconde, et par minute $65^{pi.} 108^{po.} 6^{lig.} = 65^{pi.} 753$.

Les résultats numériques auxquels on arrive à l'aide de cette formule, diffèrent de ceux que l'on trouve dans les Annales des Arts et Manufactures (2) et dans l'excellent ouvrage de Baader (3), parce que le premier a fait usage du pied anglais, et le second du pied du Rhin; ainsi le premier fait $\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}} = 1332$, et le second $= 1284$.

A la suite de l'article dans lequel il traite de l'analyse appliquée aux machines soufflantes (4), O'Relly a publié une table qui indique la

(1) Mécanique de Francœur, 2e édition, page 213.

(2) Tome 15, pages 236 et suivantes.

(3) Beischreibung und theorie des Anglischen, Cylinder Geblasses, etc. A Munich, chez Joseph Lindanes, 1805.

(4) Journal des Arts et Manufactures, tome 15, page 245.

vîtesse de l'air, en faisant varier la pression qu'il éprouve dans le réservoir. Nous n'imiterons pas ici ce rédacteur des Annales, dans la crainte d'induire en erreur les personnes qui voudraient faire usage de cette table : car la vîtesse de la sortie de l'air ne dépend pas seulement de la pression qu'il éprouve dans le réservoir, mais encore de la résistance ou de la densité de l'air extérieur, conséquemment de la pression indiquée par le baromètre, et cette pression est différente dans les plaines et sur les sommets des montagnes; elle diffère encore à chaque instant dans le même lieu. Il vaut donc mieux, si l'on veut avoir des résultats exacts, que les personnes qui voudront calculer la quantité d'air lancée par une machine soufflante, s'habituent à faire usage de la formule qui leur donne le moyen de la déterminer.

Ce que l'on se propose, en déterminant la quantité d'air lancée par les machines soufflantes, c'est de connaître quelle est la masse d'oxigène employée dans la combustion. Cette masse est comme le produit des volumes par les densités; mais les densités varient avec la compression et la température : on n'a fait connaître jusqu'à présent que les moyens de ramener les volumes à une même compression; il faut, pour compléter la formule, ramener encore les volumes à une même température. On s'est assuré, par l'expérience, que la même masse d'air occupe un volume d'autant plus considérable (toutes choses égales d'ailleurs), qu'il est plus échauffé. Quoique le raisonnement parût prouver que l'augmentation de volume de tous les gaz devait être la même, en passant d'une température à une autre, et que les augmentations devaient être égales, pour des chaleurs égales, des expériences inexactes, faites par divers savants, avaient conduit à des conclusions toutes différentes; nous devons, aux belles expériences de Guai-Lussac, faites à la sollicitation du célèbre géomètre Laplace, la connaissance de la loi de la dilatation des gaz par la chaleur : il résulte de l'expérience, que tous les gaz augmentent de 0,375 leurs volumes primitifs, en passant de la température de la glace à celle de l'eau bouillante; conséquemment de $\frac{0,375}{80}$ pour chaque degré de Réaumur au-dessus de zéro;

si l'on suppose le volume de l'air, à la température de la glace fondante, égale à l'unité, et l'augmentation, pour chaque degré centigrade $= \frac{0,375}{100}$.

Ainsi, si u est le volume de l'air à zéro, le volume v à t de la température $= u + u \frac{0,375 \times t}{100}$, et en degrés de Réaumur, $= u + u \frac{0,375.t}{80}$; d'où l'on tire, en degrés de Réaumur, $u = \frac{80\, v}{80 + 0,375.t}$. Si donc on a, par l'expérience, v à t de température, on aura V à T de température $= V + \left(\frac{80\, v}{80 +, 0375.t}\right) \left(\frac{0,375\,(T - t)}{80}\right)$.

Le degré d'humidité de l'air a encore une influence sur la quantité d'oxigène contenue dans une masse d'air donnée; mais il faut, pour déterminer sa proportion, avoir des expériences hygrométriques très-exactes, et ces sortes d'observations se font rarement dans les forges.

Puisque la quantité d'air lancée par les machines soufflantes, que l'on peut déterminer par la formule que nous avons rapportée, varie avec les pressions et les températures intérieures, il est nécessaire, pour déterminer ces quantités avec exactitude, que les pressions et les températures soient observées avec soin. Autant il est facile de connaître celles qui ont lieu dans l'intérieur des machines soufflantes, autant il est difficile d'observer exactement celles qui ont lieu à l'extérieur, et cela, parce que l'air sort par une ouverture qui est placée dans la tuyère, dont l'emplacement, qui est très-petit, est exposé à éprouver toutes les variations que doit occasionner la proximité du foyer.

368. Les machines soufflantes qui produisent un jet d'air continu avec une vîtesse uniforme, et auxquelles on peut appliquer les formules qui viennent d'être indiquées, sont de deux sortes : les trompes et les régulateurs.

Lorsque les trompes sont bien faites, et que le volume d'eau qui apporte l'air est constant, elles donnent ordinairement un courant assez uniforme; mais aussi, lorsque le volume et la vîtesse de l'eau varient, la quantité d'air paraît suivre des variations analogues. M. Barthez,

père (1), a fait, avec beaucoup de soin, des expériences sur la quantité d'air que produisaient deux trompes des Pyrénées, comparées au volume et à la chûte de l'eau qui leur arrivait. Si l'on appelle D et d les ouvertures des dépenses de l'eau par les trompes; Q et q les quantités d'air obtenu; H et h les hauteurs des chûtes, M. Barthez prétend que l'on a $Q : q :: D\sqrt{H} : d\sqrt{h}$; d'où il tire $q = \frac{dQ\sqrt{h}}{D\sqrt{H}}$.

Comme, dans toutes ses expériences, l'air est sorti par une même ouverture, que $Q = OV$, et que D est proportionnel à $\sqrt{P}$, il s'ensuit que $Q : q :: \sqrt{P} : \sqrt{p}$; ainsi, au lieu de la quantité d'air obtenu, M. Barthez s'est contenté de conclure la pression avec laquelle l'air devait sortir. Sa formule étant $\sqrt{p} = \frac{d\sqrt{P}.\sqrt{h}}{D\sqrt{H}}$, et $p = \frac{d^2.P.h}{D^2H} = \frac{P}{D^2H}.d^2 h$.

Ces expériences ont été faites sur les trompes de deux forges des Pyrénées. L'auteur a fait varier le volume de l'eau dans le réservoir, ainsi que la hauteur de la chûte, et il a déterminé les poids qui faisaient équilibre au ressort de l'air. La première expérience, à laquelle il a comparé toutes les autres, a été faite avec une trompe dans laquelle la hauteur de l'eau, dans le canal, était de 4 pouces, celle du tuyau 13 pieds 5 pouces; et le poids qui faisait équilibre au ressort de l'air, sortant par une ouverture de 16 lignes de diamètre, était de 20 onces 5. Il suit de-là que $P = 20^{\text{onc.}} 5$; $D = 4^{\text{po.}}$ et $H = 13^{\text{pi.}} 5^{\text{po.}} = 161^{\text{po.}}$ Donc $\frac{P}{D^2H} = \frac{20^{\text{onc.}} 5}{16 \times 13^{\text{pi.}} 5^{\text{po.}}} = 0{,}0079$, et la formule $p = \frac{P}{D^2H}.d^2 h$ devient $p. = 0{,}0079, d^2 h$. Nous allons présenter le tableau des expériences qui ont été faites, en comparant les résultats obtenus à ceux que le calcul a donnés.

(1) Mémoires de Mathématique et de Physique, présentés à l'Académie des Sciences par des Savants étrangers, tome 3, page 378.

TABLEAU des Expériences faites à la forge de Saint-Pierre, village du Languedoc, dans le diocèse de Narbonne, sur la rivière d'Arbroi.

Les tuyaux de la trompe étaient carrés; ils avaient 7 pouces 9 lignes de côté; l'entonnoir, ou la trémie, avait sa petite ouverture de 7 pouces 9 lignes de long sur 4 pouces 9 lignes de large, et l'orifice du porte-vent avait 16 lignes de diamètre.

HAUTEUR		POIDS QUI FAIT ÉQUILIBRE AU RESSORT DE L'AIR, OBTENU		
DE L'EAU DANS LE CANAL.	DU TUYAU.	PAR L'EXPÉRIENCE.	PAR LE CALCUL, en suivant la formule.	PAR LE CALCUL, ayant égard au calibre.
pou. lig.	pi. po. lig.	onc.	onc.	onc.
4...0...0...	.13...0...0..	......», »...	.....», »....	.....», ».
4...0...0...	.13...5...0..	....25, 5...	....25, 36....	....25, 5.
3...5...0...	.12..10...0..	....22, 0...	....23, 48....	....22, 175.
2...8...0...	.12...1...0..	....19, 0...	....20, 40....	....17, 50.
2...4...6...	.11...9...6..	....17, 20...	....19, 27....	....15, 67.
2...0...6...	.11...5...6..	....15, 25...	....18, 4....	....13, 75.
1...7...0...	.11...0...0..	....13, 375...	....16, 9....	....11, 25.
1...4...8...	.10...9...8..	....10, 25...	....14, 66....	.... 9, 75.
1...6...6...	.10...6...6..	.....8, 75...	....13, 40....	.... 7, 75.

TABLEAU des Expériences faites à la forge de la Quelle.

La largeur des tuyaux était de 8 pouces, et l'ouverture de la trémie de 8 po. sur 4 po.

HAUTEUR		POIDS QUI FAIT ÉQUILIBRE AU RESSORT DE L'AIR, OBTENU		
DE L'EAU DANS LE RÉSERVOIR.	DU TUYAU.	PAR L'EXPÉRIENCE.	PAR LE CALCUL, en suivant la formule.	PAR LE CALCUL, ayant égard au calibre.
pou. lig.	pi. po. lig.	onc.	onc.	onc.
3..10...0...	.17...1...0..	....23, 5.....	....25, 25....	....22, 37.
3.. 2...6...	.16...5...6..	....19, 5.....	....23, 0....	....18, 75.
1..11...6...	.15...2...6..	....13, 5.....	....18, 25....	....12, 25.
0.. 8...0...	.13..12...6..	.... 7, 0.....	....12, 0....	.... 6, 0.

369. Les régulateurs sont de différentes espèces; les uns, tels que les petites caisses à eaux, les cylindres à piston, les petits réservoirs dans lesquels les machines soufflantes lancent successivement l'air qu'elles ont inspiré, font éprouver, à l'air qu'ils contiennent, des compressions variables, et l'air qu'ils lancent sort avec différentes vitesses; les autres, telles que les caves à air sec, les caves à eau, ou les réservoirs à eau très-vastes, conservent à l'air une compression sensiblement uniforme, et l'air sort avec une vitesse que l'on peut regarder comme constante.

Après avoir observé la compression que l'air éprouve dans ces derniers régulateurs, et avoir déterminé par l'observation la hauteur du baromètre extérieur et la température du fluide élastique dans l'intérieur de ces grands réservoirs, on peut, à l'aide de la formule, déterminer le volume d'air lancé dans un temps donné. Cette détermination devient plus difficile dans les autres régulateurs; car il faut, pour obtenir un résultat qui approche de la vérité, observer l'ordre que présente la variation dans la pression. Si l'air n'éprouve que deux compressions, comme dans les cylindres à piston, il faut déterminer la vitesse de l'air lorsque le piston remonte et lorsqu'il descend, ainsi que le temps qu'il met à monter et à descendre; on détermine par ce moyen les quantités d'air lancées dans ces instants différents, et en les ajoutant, on en conclut celle qui a été lancée dans la somme des instants.

Si la variation dans la compression passe par degrés insensibles du maximum au minimum, il faut déterminer cette loi par l'expérience, et l'appliquer à l'évaluation de l'air lancé, dans un temps donné.

370. L'air obtenu par les machines s'accumule dans des réservoirs ou des régulateurs, pour être conduit ensuite, à l'aide de tuyaux plus ou moins longs, nommés *porte-vents,* dans les différents fourneaux où il doit être employé pour donner plus d'activité à la combustion. Une expérience extrêmement curieuse, faite par M. Wilkinson (1), a prouvé

---

(1) Préface du Traité théorique et pratique sur les soufflets cylindriques à piston, par M. Baader. Journal des Mines, tome 26, page 113.

que l'air ne peut être transporté par des tuyaux qu'à une distance limitée, au-delà de laquelle il est impossible de le faire parvenir, quelle que soit la compression qu'on exerce sur lui.

« Ce célèbre maître de forge avait imaginé de fournir le vent à un « haut fourneau, en se servant de l'eau d'un ruisseau qui en était éloi- « gné de 5000 pieds (environ un mille anglais). Dans ce dessein il fit « construire une grande roue à chûte supérieure; il établit une machine « soufflante dont les pistons étaient mus par cette roue, et enfin il plaça « une suite de tuyaux de conduite, disposés en ligne droite, pour porter « l'air de la machine au haut fourneau : ces tuyaux étaient en fonte de « fer, et leur diamètre intérieur était de 12 pouces.

« Quand toutes ces constructions furent achevées, et qu'on eut mis « la première fois l'eau sur la roue, ce fut un grand sujet de surprise « pour tous les assistants de voir que l'air comprimé s'échappait avec « vîtesse par toutes les plus petites ouvertures, et avec une force ex- « trême par la soupape de sûreté, tandis que, près du fourneau, une « lumière exposée à l'autre extrémité des tuyaux de conduite n'indi- « quait pas le plus petit mouvement dans l'air. On boucha alors avec « soin toutes les jointures; on chargea peu-à-peu la soupape de sûreté, « jusqu'à ce que l'air comprimé ne pût la soulever : et la roue (malgré « une plus grande affluence d'eau) ralentit elle-même son mouvement, « et finit par s'arrêter tout-à-fait. Quoique l'air fût ainsi comprimé à « un tel degré que sa force élastique fît équilibre à toute la puissance « motrice, on n'aperçut pas le plus léger souffle à l'extrémité des tuyaux « de conduite. L'idée la plus naturelle qui se présenta, fut que les tuyaux « étaient obstrués en quelque endroit; et, pour s'en assurer, on mit un « chat à l'embouchure des tuyaux, près de la machine, et on lui ferma « l'issue par cette extrémité : peu de temps après cet animal sortit, sain « et sauf, par l'autre bout, d'où l'on avait enlevé la buse, et il avait ainsi « parcouru, sans aucun obstacle, toute la longueur des tuyaux de con- « duite. On soupçonna dès-lors, pour la première fois, que la longueur « du tuyau pourrait bien être la cause, jusqu'ici inconnue, de ce phé- « nomène singulier; et, pour s'en convaincre, M. Wilkinson fit percer

« des trous de 30 pieds en 30 pieds dans le tuyau de conduite, en « commençant par l'extrémité la plus éloignée. Quand on vint à percer « le tuyau à la distance de 600 pieds de la machine, un léger courant « d'air se fit sentir, et il augmenta successivement, à mesure que les « trous étaient plus rapprochés. »

On savait depuis long-temps que les machines qui servent à porter l'air dans les mines ne peuvent agir qu'à une certaine distance, qu'on estime être de 1200 mètres.

Desirant avoir quelques données sur la loi de diminution qu'éprouve le ressort de l'air, en passant dans un long tuyau, ce qui n'avait pas été déterminé dans l'expérience de Wilkinson, je priai l'ingénieur des mines, Charbaut, de faire quelques expériences sur un tuyau de 110 pieds de long, qui communique au réservoir d'air de l'aciérie de Saint-Pierre d'Albigni, département du Mont-Blanc; M. Jager Schmith, directeur de cette usine, se prêta, avec la plus grande complaisance, aux succès de cette expérience.

Le porte-vent a 3 pouces 6 lignes de diamètre; il est recourbé à angle droit à une distance de 26 pieds du réservoir; la colonne d'eau, élevée par le ressort de l'air du réservoir, était de 7 pouces 9 lignes à la première station. A 26 pieds plus loin, à l'angle que formait ce tuyau, et où l'on a fait la seconde observation, la pression faisait équilibre à une colonne d'air de 7 pouces 6 lignes.

Depuis cet angle jusqu'à l'extrémité du porte-vent, la longueur du tuyau, qui était de 84 pieds, fut divisée en quatre parties de 12 pieds chacune; la pression exercée par le ressort de l'air était, dans ces stations successives, de 7 pouces 1 ligne $\frac{3}{4}$, 6 pouces 6 lignes $\frac{1}{2}$, 6 pouces 5 lignes. Le poids de l'air atmosphérique, au moment où ces expériences furent faites, était de 26 pouces 7 lignes $\frac{1}{2}$.

On voit, par ces résultats, que le ressort de l'air diminue à mesure que l'ouverture du porte-vent s'éloigne du réservoir d'air, et qu'il doit y avoir un terme (comme dans l'expérience de Wilkinson) où il ne peut plus sortir.

Il serait à desirer qu'on répétât ces expériences par tout où l'occasion se présenterait, afin de déterminer, s'il était possible, la loi de la diminution du ressort de l'air, relativement à la distance où l'ouverture du porte-vent est du réservoir, et aux diamètres des différents portes-vent.

De toutes ces observations, on peut conclure, qu'il est nécessaire de placer le réservoir à air le plus près possible de toutes les bouches à feu auxquelles il doit fournir le fluide élastique, qui doit être employé à favoriser la combustion.

371. Au reste, si l'on veut avoir quelques détails sur la solution des divers problêmes que présente l'évaluation de l'air lancé par les machines soufflantes, on peut consulter l'ouvrage de Baader, sur les machines soufflantes anglaises, que nous avons déja citées.

DU MOUVEMENT DES MACHINES SOUFFLANTES ET DES FORCES QUI LES FONT MOUVOIR.

372. Les machines soufflantes ont deux sortes de mouvements : l'un d'*oscillation,* d'une des parois vers l'autre, comme dans les soufflets de bois, de cuir, etc.; l'autre de *va et vient,* ou de rapprochement et d'écartement d'un plan vers l'une des parois, comme dans les machines prismatiques : ici, c'est un piston ou une caisse qui s'écarte et se rapproche successivement du fond. Le solide, engendré par le premier mouvement, a la forme d'un coin; celui qui est engendré par le second, a celle d'un prisme.

Parmi toutes ces forces, trois sont ordinairement employées à mouvoir les machines soufflantes : 1° les forces musculaires des animaux; 2° le mouvement, la chûte ou le poids de l'eau; 3° le ressort de la vapeur naissante. Les efforts que produisent ces forces, les mouvements qu'elles engendrent, l'effort journalier qu'elles occasionnent, devant être traités avec beaucoup de détails dans les cours d'exploitation des mines, nous ne donnerons, dans cet ouvrage, qu'une description succincte et abrégée de leur emploi; et nous invitons les

personnes qui voudront avoir de plus grands détails, à consulter le Cours d'exploitation des mines, auquel nous renvoyons.

DES FORCES MUSCULAIRES DES ANIMAUX, APPLIQUÉES AU MOUVEMENT DES MACHINES SOUFFLANTES.

373. Lorsque l'on a des machines soufflantes à faire mouvoir, et que l'on peut choisir entre les différentes forces motrices que l'on a à sa disposition, il faut toujours préférer celles que l'on peut se procurer le plus commodément, qui peuvent remplir le but que l'on se propose, et qui exigent le moins de dépense. Des trois espèces de forces dont on fait habituellement usage, les forces musculaires des animaux sont celles qui coûtent le plus, à cause des dépenses journalières de nourriture, d'entretien, et des chances de maladie et de mortalité qu'elles présentent: aussi n'emploie-t-on les animaux, pour faire mouvoir les soufflets, que dans trois circonstances : 1° celle où il est trop difficile de se procurer les deux autres forces, soit à cause de la trop grande distance de l'usine à des cours d'eau, soit à cause de la cherté du combustible; 2° lorsque le mouvement des machines soufflantes est instantané, et qu'il faut pouvoir disposer de suite et dans des intervalles imprévus, de l'air que produisent les soufflets; 3° lorsque la force que la machine exige pour son mouvement est trop petite pour occasionner la dépense d'une mécanique, et qu'il est plus commode, dans chaque instant, de faire usage des hommes ou des animaux qui sont à la proximité de l'usine.

Les forces musculaires dont on fait usage, sont celles des hommes, des chevaux, des bœufs, des chiens; et chacune de ces forces est employée d'une manière différente, relativement à l'effort que l'on veut en obtenir, aux nombres d'hommes ou d'animaux dont on peut disposer, et à la manière de les employer qui leur est la plus commode.

Les hommes font mouvoir habituellement les soufflets des forges des maréchaux, ils font mouvoir ceux des petits fourneaux à fondre le fer que l'on construit dans quelques fonderies, ainsi que ceux qui sont appliqués aux fonderies ambulantes : ce sont souvent les hommes qui

font mouvoir les soufflets dans les usines qui exigent une grande réunion d'ouvriers qui n'ont d'occupation que lorsqu'il faut forger, et qui se reposent pendant que l'on chauffe; ceux-ci restant inactifs sont employés avec avantage, comme dans la fabrication des enclumes.

Tout fait croire que les soufflets de forges étaient autrefois généralement mus par des hommes. Quoique l'on fît déja usage de l'eau, pour mouvoir les soufflets, du temps d'Agricola, cet ancien et savant métallurgiste représente encore, dans les planches de son ouvrage (1), des hommes faisant mouvoir des soufflets; les innombrables amas de scories de fer que l'on rencontre dans un grand nombre d'endroits très-éloignés des cours d'eau, sont encore une preuve de l'usage des animaux, dans les forges, pour mouvoir les soufflets; enfin l'emploi des hommes appliqués à ce travail s'est conservé dans l'Angermanie (2), à Madagascar, dans le royaume de Siam, chez les Hottentots, etc.

374. Les soufflets qui activent le feu dans les forges des maréchaux sont simples O, P, (planche 27) ou doubles Q, R. Les premiers sont composés de deux plans réunis par de grands cuirs de vache qui permettent au volant *a* d'avoir un mouvement d'oscillation qui l'approche et l'éloigne de *b;* les seconds ont un troisième plan *c,* qui sépare les deux premiers, et qui établit deux espaces: l'un *ac,* par lequel l'air est aspiré; l'autre *cb,* dans lequel il est expiré pour être lancé dans la forge.

Dans les soufflets simples Q, le plan *b* immobile, et dans les soufflets doubles O, le plan du milieu *c,* sont supportés par des poteaux *p,* ou suspendus par des étriers ou des tringles *t.* Le plan mobile *a,* qui aspire l'air, est attaché par une de ses extrémités à une chaîne, à une corde, ou à une tringle *d;* celles-ci sont fixées par l'autre extrémité à un lévier *l,* auquel on donne un mouvement d'oscillation en pesant sur l'autre extrémité, ou en les tirant par une tringle, une chaîne ou une corde *f.* Un poids *g*, suspendu au bout du plan mobile *a*, le fait redescendre pour

(1) *De Re Metallica.*

(2) Art des Forges, section 4, première classe, §. 3.

aspirer l'air, lorsque, par la traction de la tringle *f* on le fait remonter pour expirer ce fluide.

Réaumur, dans son Art d'adoucir la fonte de fer, a fait graver les petits fourneaux dans lesquels des fondeurs ambulants fondent le fer crû destiné à mouler de petits objets; les soufflets qui fournissent l'air au combustible sont mus par des hommes, dont l'effort est directement appliqué sur le volant S.

Duhamel Dumonceau a publié l'Art de forger les enclumes. Dans une de ses planches, il a fait graver la forge dans laquelle on les chauffe, ainsi que les soufflets qui fournissent l'air au foyer; ceux-ci sont mus par la pesanteur des ouvriers qui montent dessus T, U.

Agricola a représenté, sur ses planches, plusieurs manières de faire mouvoir, par des hommes, le volant des soufflets.

Les Madagases et les Siamois se placent entre les deux soufflets cylindriques dont ils font usage; ils tiennent de chaque main des pistons placés dans leur intérieur; ils les meuvent en les haussant et les baissant alternativement.

375. Les chevaux et les bœufs sont rarement appliqués aux mouvements des grands soufflets : cependant il n'est pas sans exemple qu'ils en fassent mouvoir. Agricola décrit (1) deux manières d'employer les chevaux à ces sortes de mouvements : dans l'une, le cheval est attaché à un long lévier fixé sur un arbre vertical, auquel il communique un mouvement de rotation, en marchant dans un plan circulaire et horizontal; dans l'autre, le cheval est attaché à une petite distance d'un ratelier dont il ne peut approcher, pour manger, qu'en plaçant les deux pieds de devant sur une roue verticale, pour la faire mouvoir; cette roue a pour axe un arbre horizontal sur lequel sont fixés des cammes qui communiquent leur mouvement aux soufflets.

Parmi tous les mécanismes exécutés pour faire mouvoir les soufflets par des chevaux, nous ne rapporterons que celui que nous avons fait

---

(1) *De Re Metallica*, livre 6, page 169.

exécuter pour une usine à fondre le fer crû, dans des moyens fourneaux, qui devaient être établis à Paris, loin du cours de la Seine, et dont l'exécution a été retardée, puis empêchée par des circonstances particulières.

A, (planche 28) était une double manivelle *a*, *b*, placée à l'extrémité supérieure d'un arbre vertical *c*, qu'un cheval faisait tourner; des tringles horizontales *d*, *e*, établissaient une communication entre cette double manivelle et des léviers coudés *g*, *f*; d'autres tringles *gk*, *fh*, communiquant aux léviers coudés et aux volants des soufflets, procuraient à ceux-ci le mouvement d'oscillation nécessaire pour aspirer, de l'atmosphère, et pour expirer dans les fourneaux l'air qui leur était nécessaire.

Il existe à Paris quelques fonderies de fer, dans des quartiers plus ou moins éloignés des cours d'eau, dans lesquelles on fait mouvoir, par des hommes ou par des chevaux, les machines soufflantes qui produisent l'air qui leur est nécessaire, et dans lesquelles le mécanisme présente quelques différences avec celles que nous venons de décrire.

376. Les chiens sont peu employés pour faire mouvoir les soufflets, parce que, en général, ils ont peu de force : cependant il est une classe d'ouvriers qui travaillent le fer dans les grandes villes, et qui les emploient assez communément : ce sont les cloutiers.

Dans ces machines B, les chiens sont placés dans une roue verticale *a*, de manière à pouvoir marcher dans l'intérieur, et à leur donner, par leur déplacement continuel, un mouvement de rotation ; une manivelle *m*, placée à l'extrémité de l'axe de la roue, reçoit le même mouvement et le communique, par le moyen d'une tringle de fer *b*, à un lévier *c* suspendu au plancher. Ce lévier acquiert, par cette communication, un mouvement d'oscillation qui se communique, par le moyen d'une tringle de fer *d*, au soufflet de cuir *s* qui fournit à la forge l'air nécessaire pour faire brûler le combustible.

DE L'USAGE DE L'EAU POUR FAIRE MOUVOIR LES MACHINES SOUFFLANTES.

377. L'écoulement et la chûte des eaux peuvent être employés de deux manières, à mouvoir les machines soufflantes : 1° l'eau peut, par

son mouvement, faire mouvoir des *roues hydrauliques;* 2° elle peut agir par son poids, et faire mouvoir directement des pistons, sans le secours des roues; ces deux sortes de mécanismes portent les noms de *machines à roues hydrauliques* et de *machines à colonnes d'eau.*

Des Machines à roues hydrauliques.

378. On peut diviser en deux espèces les roues que l'eau fait mouvoir, et dont le mouvement est appliqué aux machines soufflantes; les unes C, D, sont garnies, sur leur circonférence, d'un nombre plus ou moins grand de plans rectangulaires *a :* on les nomme *roues à ailes,* ou *roues à aubes;* les autres E, F, G, H, sont garnies de plusieurs *auges* pratiquées entre deux parois élevées sur l'épaisseur de la roue : celles-ci se nomment *roues à auges* ou *roues à pots.* Les *roues à aubes* sont mues par un courant d'eau dans lequel les ailes plongent; quelquefois aussi elles sont enfermées dans une espèce de canal incliné D que l'on nomme *coursier,* afin qu'elles reçoivent une plus grande action du choc de l'eau; c'est par ce choc contre les ailes (qui est d'autant plus grand que la masse et la vîtesse de l'eau sont plus considérables), que les roues se meuvent.

Les *roues à auges* reçoivent, à différentes hauteurs, l'eau qui les fait mouvoir : les unes la reçoivent dans la partie supérieure G; les autres la reçoivent aux deux tiers, à la moitié F, au tiers ou au quart H, etc. de la hauteur. Cette eau remplit les pots ou auges du côté où elle tombe, et le poids du liquide, exercé d'un seul côté de la roue, détermine son mouvement. Le courant peut arriver dans la direction du mouvement des ailes, et augmenter par son choc la vîtesse qu'elles doivent avoir. Il peut aussi avoir une direction opposée, et diminuer ou ralentir sa vîtesse par son choc.

Si l'on veut avoir des détails sur l'effort que l'eau produit sur les roues, sur le nombre d'ailes ou de pots dont elles doivent être composées; sur la forme des ailes, sur la direction de la chûte de l'eau, pour obtenir le plus grand effet, on peut consulter l'Hydrodynamique

de Bossut (1), l'Architecture hydraulique de Bélidor (2), et tous les ouvrages qui traitent de l'action des eaux sur les roues.

379. Les roues hydrauliques I sont fixées sur un arbre horizontal *a* de 15 à 24 pouces de diamètre, et même plus s'il est possible, et de 15 à 24 pieds de longueur. Ces arbres sont armés de *cammes c*, qui compriment les volants des soufflets L, M, pour les faire mouvoir, ou qui pressent sur des mantonnets assemblés dans les tringles verticales des pistons K.

Quelle que soit la position du volant sur la caisse du soufflet ou dans sa partie intérieure, il peut être mu de deux manières, ou de bas en haut L, ou de haut en bas M.

Lorsque le volant est placé dans la partie supérieure du soufflet L, M, on attache sur son milieu, à l'aide de deux étriers de fer, une forte pièce de bois *b* sur laquelle la camme doit exercer son action.

Si le volant doit être soulevé de bas en haut L, la camme, dans son mouvement, rencontre la surface inférieure et saillante de la pièce de bois; elle la soulève jusqu'à ce que, par son mouvement circulaire, elle échappe de dessous cette pièce; le volant élevé à sa plus grande hauteur retombe par son propre poids, que l'on augmente encore, soit par des morceaux de fonte de fer, soit par des pierres que l'on pose sur la partie supérieure.

Les volants M, qui doivent être abaissés par la camme, sont d'abord soulevés par un contrepoids *p*, fig. N; la camme presse ensuite sur l'extrémité du lévier *b*, fixé sur la caisse, l'abaisse, l'écrase; et lorsque cette courbe s'échappe par son mouvement circulaire, le contrepoids soulève aussitôt le volant pour faire emplir d'air l'espace vide que ce mouvement occasionne.

380. Selon les circonstances et les localités, les soufflets peuvent être placés à des hauteurs et à des distances différentes de celle de l'arbre

---

(1) Tome 2, pages 344 et suivantes. (du fonds de Firmin Didot, rue Jacob, n° 24.)

(2) Tome 1, pages 277 et suivantes. (du fonds de Firmin Didot, rue Jacob, n° 24.)

de la roue hydraulique : lorsque les soufflets sont très-élevés, que, par la position et la nature du courant l'arbre en est trop éloigné, et que la camme ne peut atteindre la partie supérieure du volant, on y propage son action de plusieurs manières. Si l'arbre a une élévation moyenne, et que la hauteur à laquelle la camme peut atteindre soit peu éloignée du dessus du volant, on se contente de fixer, sur celui-ci, un étrier de fer *e*, fig. N, qui descende assez bas pour que la camme puisse y exercer sa compression; mais lorsque l'arbre est beaucoup plus bas que la caisse des soufflets, on est obligé d'employer deux autres moyens: 1° on établit avec une tringle de fer *t*, fig. O, une communication entre la partie supérieure du volant *b* et un lévier *l*, oscillant sur un boulon *o* placé au-dessus des soufflets : c'est sur l'extrémité de ce lévier que presse la camme, et le mouvement qu'elle lui donne se communique au volant par cette tringle; 2° on fixe un second arbre *g*, fig. Q, à la hauteur du volant *b*; celui-ci communique à l'arbre *a* de la roue hydraulique par un engrenage, et le mouvement se propage ainsi à des cammes *c* (fixées sur le second arbre) qui font mouvoir les soufflets.

Cette seconde manière de communiquer le mouvement aux machines soufflantes étant plus compliquée et moins économique que les deux autres, ne s'emploie que lorsque, par la nature et la position du cours d'eau, on est obligé de ne faire usage que de très-petites roues hydrauliques, dont la vîtesse serait trop grande pour être appliquée directement au mouvement des soufflets.

Lorsque les volants sont placés par-dessous les soufflets, comme en P, on attache fortement, sur le diaphragme mobile, un lévier *l*, qui oscille sur un boulon *o*, et la camme comprime celui-là par-dessous pour le faire mouvoir de bas en haut. Dans le premier cas, le diaphragme doit être assez pesant pour retomber seul et par son propre poids, lorsqu'il a été soulevé; dans le second, il doit être relevé par un balancier, comme les volants supérieurs, lorsqu'il a été abaissé.

381. On fait relever les volants des soufflets par deux sortes de léviers: les uns sont isolés A (planche 29) et agissent séparément; les autres B

agissent concurremment; ils sont tellement combinés que, lorsque la camme abaisse l'un des volants, le second est soulevé par le mouvement du premier.

Les léviers indépendants *l*, *p*, fig. A, sont attachés sur une pièce de bois *b* à l'aide d'un boulon qui facilite leur oscillation; à l'une de leurs extrémités *b*, est une corde, une chaîne ou une tringle de fer, qui établit leur communication avec le volant des soufflets; à l'autre extrémité est un contre-poids *p* qui sert à soulever le volant.

Les léviers réunis, figure B, sont composés d'un balancier, d'une espèce de fléau *lbm* fixé par un boulon dans son milieu *b*; lorsque la camme pèse sur l'un des volants *u*, et l'abaisse, la branche du fléau *m*, qui lui correspond, s'incline, tandis que la branche opposée *l* s'élève et entraîne l'autre volant *v* par son mouvement. Souvent la chappe *c*, à laquelle on attache le boulon qui suspend le fléau, est fixe; dans ce cas, il faut que la disposition des cammes, sur l'arbre, soit telle qu'il y ait un petit intervalle entre leur action sur chaque volant; car si elles agissaient à-la-fois sur les deux volants, leurs efforts réunis casseraient ou le *fléau*, ou le *boulon*, ou la *chappe*.

Mais lorsqu'on laisse un intervalle dans l'action des cammes sur les deux soufflets, cet intervalle, quelque court qu'il soit, se passe sans que le fourneau reçoive d'air; il produit donc des irrégularités dans la marche du fourneau.

Pour éviter ces irrégularités, on fixe la chappe sur un lévier flexible *f*, et l'on permet aux cammes de se succéder sur les deux volants avec une telle rapidité, que la première agit encore un peu sur son volant, lorsque la seconde commence son action : dans le moment où les deux pressions existent à-la-fois, le lévier flexible, à l'extrémité duquel la chappe est attachée, plie et cède par sa flexibilité aux deux actions réunies. Ce mode de suspendre les volants des soufflets a aussi un inconvénient, en ce qu'il permet que, pendant un instant, très-court à la vérité, les deux soufflets lancent de l'air à-la-fois, et cette augmentation de l'action de l'air occasionne aussi de l'irrégularité.

Lorsque les deux léviers sont isolés et indépendants, on ne craint

pas l'action simultanée des cammes sur les deux soufflets : on peut donc les disposer de manière que ces actions se succèdent plus promptement, sans interruption et sans réunion.

382. Dans le plus grand nombre des circonstances, la roue hydraulique est placée immédiatement près des soufflets, et l'arbre communique avec eux, soit directement, soit par le moyen d'un second arbre placé au-dessus ou au-dessous du premier, et que l'on fait mouvoir par un engrenage; mais il arrive aussi quelquefois que le courant est tellement disposé, que la roue est à quelque distance des soufflets qu'elle doit faire mouvoir; dans ce cas, on communique le mouvement de la roue, à l'aide de tringles et de léviers d'oscillation, comme en C.

Si la roue *r* est placée à une distance moyenne des soufflets, on peut, à l'aide d'une double manivelle *m* et d'une tringle *a*, changer le mouvement de rotation en un mouvement d'oscillation : ce mouvement communiqué à un arbre horizontal *b*, peut l'être aussi à un autre *c*, par une tringle horizontale *d* : ce second mouvement communique à une espèce de fléau *lm*, aux extrémités duquel sont suspendues des tringles *lv*, *mu*, attachées aux volants *v*, *u* des soufflets, afin de les élever et de les abaisser alternativement.

383. Les pistons des machines *p*, fig. D, E, sont soutenus ou suspendus par des barres *b*; celles-ci sont maintenues dans une position verticale par les deux extrémités; d'un côté, par le piston *p*, qui remplit exactement le cylindre, et de l'autre, par une ouverture faite entre deux pièces de bois *d*, *d*. Dans les barres *b*, sont emmanchés, perpendiculairement à leur longueur, des morceaux de bois carrés *m* auxquels on donne le nom de *mantonnets* : les cammes C passent sous le mantonnet et le soulèvent; elles poussent ainsi le piston *p*, fig. E, vers le fond et chassent l'air du cylindre; lorsque le prisme à air est placé dans la partie inférieure, comme en D, la camme, en soulevant le piston, forme dans le cylindre un vide qui est rempli par l'air aspiré. Dans le premier cas, la camme échappant, le piston retombe par son propre poids, et forme dans le cylindre un vide aspirant; dans le second cas, la camme échappant, le piston retombe dans le cylindre, et, par son propre poids,

comprime l'air pour le chasser, soit dans le fourneau, soit dans le régulateur.

Il résulte des détails que l'on vient de donner sur la manière de faire mouvoir les volants ou les pistons des machines soufflantes à l'aide d'une roue hydraulique, qu'en général, les mouvements sont produits par la pression d'une camme sur un mantonnet; que la camme, fixée sur l'arbre, a un mouvement de rotation que celui-ci lui communique, et que le mantonnet, pressé par la camme pendant son mouvement de rotation, acquiert un mouvement d'oscillation ou de va et vient qu'il communique, le premier au volant, le second au piston.

384. Les cammes fixées sur les arbres ont, dans les usines, des formes différentes : cette variation dans leur forme est un vice de construction, qui tient au défaut de connaissances mécaniques dans les ouvriers qui les construisent. Il est inutile de faire mention ici de toutes les cammes vicieuses dont on fait usage; il suffit de faire connaître la seule forme que l'on puisse et que l'on doive employer, ce que l'on peut toujours déduire rigoureusement des principes de statique et de mécanique.

Les arbres qui portent les roues ont tous un mouvement de rotation; les mantonnets, selon qu'ils sont appliqués à des soufflets, à des caisses ou à des cylindres, ont des mouvements d'oscillation ou de va et vient. La camme, pour produire un effort constant sur le mantonnet, doit avoir une courbure particulière : cette courbure éprouve quelques variations, selon que le mantonnet a l'un ou l'autre des deux mouvements qui lui sont propres.

Lorsque le plan mobile des machines soufflantes F a un mouvement de va et vient vertical, et que la surface de contact du mantonnet *m* est horizontale, la courbure de la camme doit être la développée d'une circonférence de cercle *abcdefg*, fig. G, c'est-à-dire, que, si l'on suppose que la distance du centre C de l'arbre au point *a* du mantonnet qui doit être constamment touché par la camme soit le rayon d'un cercle, et que sur ce cercle *ahikl* on roule une corde, la courbure *abdefg* que décrira le bout de la corde en la déroulant, sera celle que la camme doit avoir.

c'est d'avoir une courbe telle, que, dans toutes les positions de la camme et du lévier, pendant leur mouvement, l'effort au centre de l'arbre soit le même : or, si les points A et C sont les deux centres du mouvement, A, celui d'oscillation du soufflet, C, celui de rotation de l'arbre ou de la camme, et que B, sur la droite menée de l'un à l'autre des centres, soit le point de contact des deux rayons : si, sur un point quelconque de la demi-circonférence BEFA, décrite avec un rayon $BD = \frac{BA}{2}$, on mène des lignes CE, AE, on aura l'effort en C par CB est à l'effort en E par CE comme la résistance en B par AB est à la résistance en E par AE; c'est-à-dire, que dans toutes les positions du rayon CE sur la demi-circonférence BEFA, l'effort sera à la résistance dans un rapport constant.

Pour le démontrer, soit appliquée sur une perpendiculaire élevée à l'extrémité du lévier CE, une force exprimée par En, qui soit telle que l'on ait $CE \times En = CB \times P$, indiquant l'effort à l'extrémité B du rayon CB, on aura........................P : En :: CE : CB.
Et, à cause des triangles semblables Emn, ECG, on a En : Em :: CG : CE.
En multipliant par ordre on a................P : Em :: CG : CB.
Mais on a aussi $AB \times P = AE \times x$, d'où.........P : x :: AE : AB.
A cause des triangles semblables AEB, CGB, on a. AE : AB :: CG : CB.
Donc................................P : x :: CG : CB.
Mais................................P : Em :: CG : CB.
Donc................................P : x :: P : Em.
Donc..$Em = x$.

Mais comme Em est l'effort qui agit perpendiculairement sur AE, et que l'effort qui agit obliquement sur CE donne En pour action perpendiculaire, il s'ensuit que lorsque la rencontre de la camme et du lévier se fait sur la demi-circonférence BEFA, l'effort, aux centres des mouvements, est toujours le même; mais pour que la rencontre de la camme et du lévier se fasse sur cette demi-circonférence, la surface du lévier étant un plan dirigé vers le centre d'oscillation, il faut que la surface de la camme soit une épicycloïde engendrée par le demi-cercle BEFA:

donc, pour obtenir un mouvement produit par un effort uniforme et constant, il faut que la camme ait la courbure d'une épicycloïde. Pour avoir de plus grands détails sur cette courbure et sur les effets des cammes (1), on peut consulter le tome second de Mécanique statique de Camus, les Mémoires de l'Académie des sciences (2), les Essais sur l'Horlogerie de Ferdinand Berthoud (3), dans lesquels ces auteurs traitent de la courbure des dents d'engrenage, qui est la même que celle des lames qui font mouvoir les soufflets, et enfin trois mémoires imprimés dans la collection des Annales des Arts et Manufactures (4).

Des Machines à colonnes d'eau.

385. On appelle *machines à colonnes d'eau* A, B, (planche 30) celles qui sont mues par la chûte ou le poids d'une masse d'eau très-élevée. Il faut, pour les construire, une situation particulière et dans laquelle on puisse obtenir une chûte considérable.

Ces sortes de machines sont connues depuis très-long-temps, quoiqu'elles soient peu en usage; il en existe quelques-unes dans les mines de Schemnitz en Hongrie (5); on les y a nommées *Hollische machine*, du nom du maître des machines, Holl, qui proposa et dirigea leur construction; là elles sont destinées à élever l'eau de plusieurs galeries, à l'aide du poids d'une colonne d'eau plus élevée.

Le même Holl fit exécuter, à Schemnitz, une machine à colonnes d'eau qui produit le double effet, de renouveller l'air des galeries, et d'en extraire l'eau qui s'y rassemble (6).

---

(1) Page 305.

(2) Année 1733.

(3) Deuxième volume, seconde partie, chapitre 5, tome 2, page 152.

(4) Tome 16, page 296, et tome 17, pages 35–113–249.

(5) Voyage métallurgique de Jars et Duhamel, tome 2, page 152.

(6) *Idem*, tome 2, page 255.

386. L'inspecteur divisionnaire des mines, Baillet, a proposé (1) d'appliquer les machines à colonnes d'eau au mouvement des machines soufflantes à cylindre. Le moyen B qu'il propose est simple : un réservoir *a* un peu élevé, communique, par le moyen d'un tuyau vertical *b* à un cylindre *c*, celui-ci communique à un second cylindre supérieur *d* dans lequel est un autre piston. Deux robinets ou soupapes *e*, *f* établissent la communication ; l'un *f* entre le cylindre à piston et le réservoir d'eau ; l'autre *e* entre le cylindre à piston et l'extérieur. Le piston *c* communique, par le moyen d'une tige ou tringle verticale *g*, au piston de la machine soufflante *d*.

Lorsque le robinet *e* qui établit la communication du cylindre à piston avec l'air intérieur est fermé, et que l'autre *f* est ouvert, l'eau arrive du réservoir supérieur dans le cylindre ; par sa compression elle soulève le piston, et par conséquent celui de la machine soufflante ; ce dernier chasse ainsi l'air qui y est contenu : lorsque le piston est assez élevé, on ferme le robinet *f* qui communique au réservoir, on ouvre le robinet *e* qui communique à l'extérieur, et par la pression des deux pistons sur l'eau, ce liquide sort, les pistons descendent, et le cylindre de la machine soufflante se remplit de l'air qu'il aspire.

Refermant le robinet *e* de la sortie de l'eau, ouvrant celui d'entrée *f*, les pistons remontent, et ils redescendent lorsque l'on ferme le robinet ouvert et lorsque l'on ouvre celui qui est fermé.

Tout consiste donc, dans la construction de cette machine, à fermer le robinet *f* d'entrée de l'eau, et ouvrir le robinet *e* de sortie, lorsque le piston est élevé ; à fermer celui *e* de sortie, et ouvrir celui *f* d'entrée de l'eau, lorsque le piston est descendu. Pour cela, l'inspecteur Baillet propose d'appliquer à la tringle *g*, qui communique aux deux pistons, deux régulateurs *h*, *k*, qui ouvrent et ferment les robinets, lorsque les pistons sont arrivés dans les positions où leur mouvement doit rétrograder.

---

(1) Journal des Mines, tome 3, n° 16, page 14.

On peut également se servir de ces sortes de machines pour faire mouvoir des soufflets, en appliquant un mantonnet *m* (fig. C) dessus ou dessous la tringle verticale, fixée dans le piston qui communique au réservoir d'eau, et en formant une camme de l'extrémité du lévier fixé sur le volant du soufflet.

La courbure de cette camme est une développée du cercle. Lorsque le mantonnet est placé par-dessous, il la soulève naturellement par l'effort de l'eau; lorsque le mantonnet est placé par-dessus, il faut charger le piston d'un poids qui le force à exercer une compression sur la camme en descendant, et l'effort de l'eau, dans ce cas, est employé à soulever le poids qui comprime le piston, et à vaincre le frottement de celui-ci.

En général, tout porte à croire que les machines à colonnes d'eau produisent plus d'effet que les machines hydrauliques, la consommation d'eau étant la même; parce que dans ces sortes de machines toute l'eau consommée est employée à produire de l'effet, tandis que, dans les autres, il y a toujours une partie de l'eau perdue. Tous les mécaniciens qui ont décrit ces sortes de machines, en ont conseillé l'usage, préférablement aux autres moyens que l'on emploie. C'est au temps et à l'expérience à juger s'ils ont raison.

DE L'USAGE DES MACHINES A VAPEUR POUR FAIRE MOUVOIR LES MACHINES SOUFFLANTES.

387. On appelle *machines à vapeur*, des machines D composées d'un grand cylindre de fonte *a* parfaitement calibré dans l'intérieur, de manière qu'un piston *b* puisse s'y mouvoir, en touchant exactement sa surface dans toute l'étendue de son mouvement. Ces cylindres communiquent dans leurs parties supérieure et inférieure avec une chaudière *c* dans laquelle l'eau est vaporisée par l'action du feu; cette vapeur en passant, par le moyen de soupapes, dans les ouvertures supérieure et inférieure, peut exercer alternativement son action dessus et dessous le piston, et, par sa force comprimante, le faire monter ou descendre. Une cuve pleine d'eau *d*, placée à côté du cylindre, a, dans

son intérieur, un tuyau *e* appelé *réfrigérent;* celui-ci communique également avec les surfaces supérieure et inférieure du piston.

Lorsque le piston est en bas, et qu'on veut l'élever, la vapeur entre par la partie inférieure pour y exercer sa pression; en même temps, il s'établit une communication entre la partie supérieure et le réfrigérent *e;* la vapeur supérieure se condense sur l'eau froide, ce qui produit un vide qui favorise le mouvement ascensionnel du piston.

Aussitôt que le piston est élevé, on ferme la communication de la vapeur avec la partie inférieure, et l'on ouvre celle de la partie supérieure; on ferme la communication de la vapeur supérieure avec le réfrigérent, et l'on ouvre celle de la vapeur inférieure; par ce moyen, la vapeur passe dans la partie supérieure en même temps qu'il se forme un vide dans la partie inférieure, et le piston descend.

Le piston ainsi descendu, on ferme la communication de la vapeur avec la partie supérieure, et l'on ouvre celle que cette partie doit avoir avec le réfrigérent; on ferme la communication de la partie inférieure avec le réfrigérent, et l'on ouvre celle qu'il doit avoir avec la vapeur; celle-ci, par sa compression, soulève le piston.

C'est ainsi qu'en ouvrant et fermant alternativement la communication avec la vapeur et avec le réfrigérent sur chacune des surfaces supérieure et inférieure du piston, on lui communique, dans le corps de la pompe, un mouvement de va et vient.

Les communications s'ouvrent et se ferment par des régulateurs placés à une tringle *f*, qui communique au balancier que le piston fait mouvoir.

Une tringle de fer verticale *g*, est fixée sur le piston; elle communique par son extrémité supérieure avec un balancier *h;* la tringle participe du mouvement de va et vient du piston, et communique à ce balancier un mouvement d'oscillation.

Ce mouvement d'oscillation est, dans un grand nombre de circonstances, appliqué directement aux pistons des machines soufflantes G, pour les faire mouvoir; d'autres fois ce mouvement se communique, par le moyen d'une tringle, à la manivelle d'un grand cercle de fonte H,

et lui procure un mouvement de rotation. Ce cercle étant fixé sur un arbre horizontal, celui-ci peut, à l'aide des cammes, faire mouvoir des machines à cylindre et des soufflets, comme les roues hydrauliques.

Si l'on veut avoir quelques détails sur la construction et sur les effets des machines à vapeur, on peut consulter l'excellent ouvrage, que le savant inspecteur général des ponts et chaussées, Prony, a publié sur ces machines (1), et pour celles qui ont été inventées ou perfectionnées, depuis la publication de cet ouvrage, les Annales des Arts et Manufactures (2), et plusieurs autres ouvrages modernes.

388. Le moyen le plus simple d'appliquer le mouvement de va et vient des pistons des machines à vapeur, à l'aspiration et l'expiration de l'air dans les machines soufflantes, serait de placer le cylindre de la machine soufflante A, (planche 31) au-dessus ou au-dessous de celui de la machine à vapeur. En faisant communiquer les deux pistons par une tringle, les deux mouvements auraient lieu à-la-fois, sans l'intervention d'aucun mécanisme intermédiaire.

Cette disposition est peu employée, parce qu'elle produit une trop grande élévation, par la superposition des deux cylindres, et qu'elle nécessite la construction d'un nouveau mécanisme, pour faire mouvoir les soupapes qui amènent l'eau fraîche dans le réfrigérent, et pour élever l'eau du réfrigérent, qui a été échauffée par la vapeur qu'elle a condensée.

Dans presque toutes les machines à vapeur, on applique directement un balancier à la tringle du piston, et c'est ce balancier qui fait mouvoir la machine soufflante.

389. Les machines à vapeur sont, ou à simple effet, ou à double effet. Les machines à simple effet B, n'éprouvent de compression de la vapeur que dans la partie supérieure du piston; il n'y a de force exercée

---

(1) Nouvelle Architecture hydraulique, chez Firmin Didot, rue Jacob à Paris, 1796; seconde partie.

(2) Tome 1, pag. 78–211–218; tome 9, pag. 92; tome 13, p. 230; tome 3, p. 100; tome 10, pag. 198; tome 20, pag. 294; tome 7, pag. 80; tome 12, pag. 83, etc.

sur lui que pour l'abaisser; il faut qu'une force étrangère le soulève, et cette force est un poids P placé sur une tringle suspendue à l'autre extrémité; et comme dans cette construction les deux tringles tirent alternativement le balancier, il suffit qu'elles soient suspendues par de fortes chaînes C, D, qui ont une construction particulière et tout-à-fait semblable à celles qui entourent les barillets des montres. Dans les machines à double effet, la vapeur presse alternativement dessus et dessous le piston, et sa force est égale des deux côtés. Le balancier doit donc être soulevé et abaissé par la tringle qui communique au piston; il faut pour cela qu'elle soit fixée au balancier, de manière à produire ces deux effets.

Parmi tous les moyens connus et ordinairement employés pour changer un mouvement de va et vient donné, en mouvement d'oscillation, un des plus simples CD, c'est d'attacher les deux chaînes *ab*, *df*, l'une à la partie supérieure *d* du fléau, l'autre à la partie inférieure *b*; la première s'attache sur la tringle au-dessous du fléau, et la seconde au-dessus. Par ce moyen, lorsque la tringle s'élève, elle attire le fléau vers le haut par la partie inférieure; et lorsqu'elle s'abaisse, elle l'attire vers le bas par la partie supérieure.

Les moyens ordinairement appliqués aux machines à vapeur, pour soulever ou abaisser le fléau ou lévier, sont premièrement deux balanciers E, qui se meuvent en sens contraire et qui communiquent l'un à l'autre par une barre de fer *ab*, qui a un mouvement d'articulation sur chaque extrémité; au milieu *c* de cette barre est attachée la tringle *cd*, qui communique au piston; ce point de suspension ou d'attache, décrit, dans toute l'étendue de son mouvement, un huit de chiffre *abcdefg*, fig. F, dans lequel le petit espace *bcd*, qu'il doit parcourir, en vertu du mouvement du piston, est une ligne droite (1).

Secondement, un double mouvement d'articulation *abc* (fig. G), produit par cinq barres de fer qui s'articulent les unes dans les autres,

(1) Nouvelle Architecture hydraulique de Prony, 2e volume, page 128 et suiv.

dont deux d'entre elles ont un mouvement à charnière sur le fléau, et une autre sur un point fixe (1).

390. Le mouvement du piston de la machine soufflante, lorsque l'ouverture du cylindre est dans la partie supérieure, peut être produit par une traction simple H, si le piston a une pesanteur assez grande pour retomber par son propre poids; on peut aussi le mouvoir par une traction composée I, lorsque le piston est placé inférieurement, en faisant communiquer le balancier de la machine à vapeur avec celui qui est placé sur la tige du piston et qui lui est inférieur.

Lorsque le fléau est mu par deux forces, l'une de traction et l'autre de pression, on peut appliquer ces deux mêmes forces, fig. K, L, M, N, par son autre extrémité, au mouvement du piston de la machine soufflante, soit en faisant communiquer directement l'extrémité de ce fléau à la tringle du piston, soit en la faisant communiquer par un nouveau lévier oscillant.

On trouve, dans l'ouvrage que Baader publia sur les soufflets anglais à cylindres, plusieurs manières de faire mouvoir les pistons des machines soufflantes, à l'aide du mouvement d'oscillation communiqué à un grand balancier par une machine à vapeur : on peut donc consulter cet ouvrage pour avoir de plus grands détails sur cet objet.

EXAMEN DES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE CHAQUE MACHINE SOUFFLANTE, AFIN DE POUVOIR DÉTERMINER CELLE A LAQUELLE ON DOIT DONNER LA PRÉFÉRENCE.

391. On voit, par ce qui précède, que les machinee soufflantes peuvent être divisées en sept espèces.

---

(1) Nouvelle Architecture hydraulique de Prony, 2e volume, page 116.

MACHINES soufflantes dans lesquelles l'air est introduit	par l'eau				TROMPES.
	par une moindre pression. Les parois étant	flexibles		SOUFFLETS	de cuir
					d'orgue.
		inflexibles.	mues dans l'eau,		CAISSES A EAU.
			à frottement	en forme de coin.	soufflets de bois.
				prismatiques.	quadrangulaire.
					cylindrique.

D'après ce qui a été observé à la fin de l'article des *machines soufflantes à parois flexibles*, et ce qui a été dit au commencement de celui des *soufflets de bois*, il est facile de conclure que si, dans ces sept sortes de machines, on compare entre eux les soufflets de cuir, les soufflets d'orgue, et ceux en bois, ces derniers doivent être préférés aux deux autres.

On a vu, en comparant les quantités d'eau qu'exigent les soufflets de bois et les machines soufflantes prismatiques, quadrangulaires et cylindriques, pour être mis en mouvement, qu'il ne faut, pour produire la même quantité d'air avec ces derniers, que le tiers de l'eau exigée par les premiers : enfin, on a remarqué que les prismes de bois coûtaient moins que les soufflets, soit pour être établis, soit pour être réparés. Quant aux cylindres de fonte, la première dépense est à la vérité plus considérable que celle des prismes de bois, mais aussi ils présentent une grande économie en ce qu'ils exigent moins de réparation, et qu'on les renouvelle moins souvent.

Il suit de ces observations que lorsque l'on peut choisir entre les soufflets de cuir, les soufflets d'orgue et ceux de bois, et les trompes, les machines quadrangulaires en bois, et les machines cylindriques en fonte, on doit préférer ces dernières. Il ne nous reste donc plus qu'à comparer les avantages et les inconvénients que présentent ces trois derniers soufflets, savoir, les trompes, les caisses à eau, et les cylindres

de fonte. Pour y mettre plus d'ordre et plus de clarté, nous allons commencer par la comparaison des trompes et des machines cylindriques, puis nous comparerons les machines cylindriques avec les caisses à eau.

392. D'après les résultats que l'intelligent maître de forge, Rambourg, publia sur les machines soufflantes à piston (1), on voit que les cylindres de fonte des forges de Marche-sur-Meuse, produisent 400 pieds cubes d'air par minute, avec une dépense de 80 pieds cubes d'eau dont la chûte est de 10 pieds. Si les observations que les ingénieurs Beaunier et Gallois ont publiées sur les trompes de Poullaouen étaient exactes, il s'ensuivrait (2) qu'avec une dépense de 173 pieds cubes d'eau par minute, tombant de 21 pieds 6 pouces de haut, on obtiendrait 461 pieds d'air; donc, avec 157 pieds cubes d'eau on obtiendrait 400 pieds cubes d'air; d'où il suivrait que, pour obtenir la même quantité d'air des trompes et des machines soufflantes à piston, on consommerait, dans les trompes, le double d'eau avec une chûte double; mais il paraît, d'après une lettre que nous écrivit l'ingénieur Gallois, en date du 16 décembre 1807, que la quantité d'air que ces deux savants ingénieurs ont annoncé devoir être produite par les trompes de Poullaouen, est quadruple de celles qu'elles produisent réellement, parce qu'ils ont calculé cette quantité pour un orifice de deux pouces de diametre, tandis que celui par lequel l'air sortait n'avait qu'un pouce. Dans cette hypothèse, qui s'accorde beaucoup mieux avec toutes les expériences faites jusqu'à ce jour sur les trompes, il s'ensuivrait que ces machines consommeraient 157 pieds cubes d'eau pour produire 100 pieds cubes d'air, donc huit fois autant d'eau, avec un chûte double que les cylindres à piston, et cela pour ne donner que la même quantité d'air. De nouvelles expériences faites par l'ingénieur Gallois, sur les trompes des hauts fourneaux situés dans la principauté de Piom-

(1) Journal des Mines, tome 7, pages 105 et suivantes.

(2) *Idem*, tome 16, page 43.

bino en Italie, lui ont donné ce résultat, que 333 pieds cubes d'eau, tombant de 19 pieds de haut, produisirent 166 pieds cubes d'air; donc il faudrait au moins 800 pieds cubes d'eau pour produire 400 pieds cubes d'air, ainsi 10 fois plus que les cylindres n'en emploieraient pour donner la même quantité de vent, et cela avec une chûte d'eau presque double.

393. Les trompes sont des machines si simples, si faciles à établir, elles exigent si peu de dépenses que, malgré cette grande consommation d'eau, on pourrait trouver du bénéfice à les employer dans les pays montagneux où l'eau est abondante et les chûtes communes; mais ces sortes de machines ont d'autres défauts qu'il est nécessaire de connaître, et que l'on doit examiner avant de se décider en leur faveur; et pour les bien juger, on va les considérer sous un autre rapport, qui est beaucoup plus essentiel pour les maîtres de forge, celui de la consommation de charbon qu'elles occasionnent.

394. L'air entraîné par l'eau dans les trompes doit nécessairement se saturer de ce liquide; mais, indépendamment de cette saturation, comme l'eau est divisée par l'air lorsqu'elle tombe dans la caisse de la trompe, elle doit nécessairement se réunir en globules plus ou moins gros; un grand nombre de ces globules reste suspendu dans l'air comme dans un nuage, et est entraîné avec lui. On voit en effet que, 1° les conduits de cuir, à l'aide desquels on dirige l'air dans la tuyere, *suent* toujours l'humidité que dépose le courant d'air dans son passage; 2° lorsqu'il s'échappe de l'air des portes-vent, soit par des scissures, soit par des ouvertures faites à dessein, les corps exposés au contact de ces courants se couvrent d'eau : ainsi, l'on doit considérer l'air des trompes comme étant supersaturé d'humidité, et comme retenant en suspension une grande quantité d'eau de plus que celle qui est transformée en vapeur naissante par l'action de la chaleur.

Cela posé, toutes les fois que l'on brûle du charbon dans l'oxigène, il se dégage du calorique, et il se forme de l'acide carbonique; toutes les fois que l'on brûle de l'hydrogène dans de l'oxigène, il se forme de l'eau, et il se dégage du calorique.

Ainsi, si l'on suppose que toute la chaleur qui se dégage de la com-

bustion du charbon est produite par la combinaison de ce combustible avec l'oxigène, il s'ensuit nécessairement qu'il y aura plus de calorique dégagé par une livre de charbon brûlé dans l'oxigène pur, que par une livre de charbon brûlé par la vapeur de l'eau, (s'il est vrai qu'il soit possible de brûler du charbon avec de la vapeur d'eau pure); car toute la chaleur dégagée pour combiner l'oxigène avec l'hydrogène doit être rendue à l'oxigène pour se dégager de l'hydrogène, afin de pouvoir se combiner ensuite avec le carbone. Ainsi, la quantité de calorique obtenue par une livre d'oxigène dégagée de l'eau, pour la combiner au carbone, doit être moindre que celle que produirait une livre d'oxigène sec, de toute la quantité de calorique qu'il a fallu employer pour la dégager de l'hydrogène.

D'après les expériences de Lavoisier et de Laplace (1), une livre de charbon se combine avec 2 livres 9 onces 1 gros 10 grains d'oxigène, pour produire 3 livres 9 onces 1 gros 10 grains d'acide carbonique, et la quantité de calorique dégagé fait fondre 96 liv. 5 de glace à zéro, d'où il suit qu'une livre d'oxigène, en se combinant avec du carbone, fait dégager une quantité de calorique capable de fondre 37 livres 5 de glace.

D'après les expériences de ces deux célèbres académiciens, une livre de gaz hydrogène se combine avec 5 livres 10 onces 5 gros 24 grains d'oxigène, pour former 6 livres 10 onces 5 gros 24 grains d'eau, et cette combinaison fond 296 livres de glace à zéro; ainsi, la quantité de calorique dégagé de la combinaison d'une livre d'oxigène avec l'hydrogène nécessaire pour former de l'eau, doit donc fondre 54 livres 2 onces environ de glace.

Il suit de ces deux expériences, que la quantité de calorique dégagé d'une quantité donnée d'oxigène, combinée avec du carbone, ou avec de l'hydrogène, est :: 375 : 542; donc il se dégage plus de calorique de la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène, pour faire de l'eau, qu'il ne s'en dégage de l'oxigène avec le carbone, pour former de l'acide

(1) Traité élémentaire de Chimie par Lavoisier, 1re partie; pages 108 et suiv.

carbonique; donc encore, il faut plus de chaleur pour décomposer une quantité donnée d'eau, qu'il n'y en a de dégagée par la combustion du carbone avec la quantité d'oxigène qu'elle produit; donc enfin, la vapeur de l'eau devrait éteindre un feu de charbon, si, avec cette vapeur, il n'y avait pas toujours un mélange d'une quantité d'air contenant de l'oxigène en assez grande abondance pour fournir le calorique absorbé par la décomposition de l'eau, et pour entretenir la température propre à continuer la combustion : aussi s'est-on assuré, dans plusieurs circonstances, qu'il suffisait souvent d'une pluie de vapeur distribuée de manière à couvrir toute la matière enflammée, pour éteindre un commencement d'embrasement formé dans des substances très-combustibles (1).

Puisqu'il se dégage plus de calorique de la combinaison d'une quantité donnée d'oxigène avec de l'hydrogène, que de cette même quantité combinée avec du carbone, on doit en conclure que si, dans la combustion du charbon, le calorique n'est dégagé que par la combinaison du carbone avec l'oxigène, la quantité de calorique libre doit être d'autant moins grande que l'air dans lequel ce gaz est mélangé contient plus d'humidité, de là que l'air humide des trompes produit moins de chaleur que l'air sec (car cette humidité transportée par l'air, produit sur le calorique dégagé un effet semblable à celui de l'eau qui mouille les charbons); enfin, que pour obtenir une température propre à fondre le fer, il faut brûler d'autant plus de charbon, que l'air ou le charbon lui-même est plus humide; de là enfin que l'air très-humide des trompes doit occasionner une consommation de charbon plus considérable que celui des autres machines soufflantes qui aspirent et expirent généralement un air plus sec.

395. O'Relly (2) rapporte à ce sujet, « qu'un maître de forge anglais,

---

(1) Annales de Chimie, tome 5, pag. 143 et suiv. — Annales des Arts et Manufactures, tome 16, pages 140 et suivantes.

(2) Journal des Arts et Manufactures, tome 4, pages 235 et suivantes.

« dont il ne peut citer le nom, mais que son talent et sa fortune ont « mis à même de faire les expériences les plus décisives dans l'art de « fabriquer le fer, a cru.... qu'en introduisant, par une ouverture au- « dessous de la tuyère, de la vapeur de l'eau sur les matieres en ignition « jusqu'à une chaleur blanche, il se ferait une décomposition qui pré- « senterait au combustible une plus grande quantité d'oxigène, et que « l'on obtiendrait ainsi une combinaison plus active que par les procé- « dés suivis jusqu'à ce jour. L'idée en était on ne peut pas plus ingé- « nieuse, et son application à la fabrication de la fonte était originale : « cette belle expérience, faite sur une très-grande échelle (1), a prouvé « de la manière la plus complette *les pernicieux effets de l'humidité.* Le « haut fourneau devint froid partout où avait passé le courant de « vapeur; le refroidissement, produit par la décomposition de l'eau et « le dégagement de l'oxigène, s'accrut au point le plus effrayant jusqu'au « haut du fourneau; le métal obtenu était blanc comme de l'argent « dans sa cassure; l'introduction de la vapeur fut continuée, la charge « des matieres dans le fourneau perdit sa chaleur pour faciliter la « décomposition de l'eau, et peu-à-peu le fourneau se trouva bouché « par une voûte de lave qui mit fin à l'expérience et au travail. »

Ce résultat est entièrement conforme à la théorie sur l'absorption de la chaleur pendant la décomposition de l'eau par le charbon, pour produire de l'acide carbonique; il se déduit naturellement des expériences de l'immortel Lavoisier, sur la proportion de chaleur dégagée par une quantité donnée d'oxigène en se combinant avec de l'hydrogène et du carbone.

Si l'on compare les résultats obtenus par l'ingénieux maître de forge anglais, avec la marche des hauts fourneaux dans les temps secs et humides, on trouve qu'il existe une analogie parfaite entre son expérience et les observations journalières.

En effet, c'est toujours l'hiver, lorsque l'air est sec et que le baro-

---

1) Dans un fourneau de 18 pieds de haut.

mètre est très-élevé, que les fourneaux vont le mieux, que la fonte obtenue est meilleure et plus grise. Dès que le temps change, que le ciel se couvre de nuages, que l'air se sature d'eau, qu'il tombe de la neige, alors la fonte blanchit, et le laitier devient long et tenace. L'été même, lorsque l'air est sec, on consume plus de charbon que l'hiver, pour obtenir la même quantité de fonte. Quand l'air est rempli de brouillard, qu'il tombe de la pluie, le fourneau va au plus mal. En général, plus l'air est vif, sec et froid, plus la combustion est rapide, plus la descente de la charge dans les hauts fourneaux est accélérée, et plus la fonte est grise : plus l'air est humide et chaud, plus la combustion est lente, plus la descente de la charge est retardée, plus la fonte est blanche, et plus le fourneau consume de charbon proportionnellement à la fonte obtenue.

« Dans plusieurs contrées de l'Europe (1), on obtient de plus grands « produits des fondages faits en hiver, que de ceux que l'on fait en « automne, et sur-tout en été : la qualité du métal est encore plus « carbonnée, et cela avec une plus petite proportion de combustible. « Dans quelques vallons de la Suède, où les chaleurs sont excessives, « les maîtres de forge sont obligés d'arrêter leurs fourneaux pendant « deux ou trois mois. Il leur est impossible non seulement de fabriquer « du métal carboné, mais encore de parvenir à avoir un fer passable. « En Angleterre, pendant le trimestre d'été, sur-tout dans les temps « de sécheresse, la qualité du fer obtenue avec la proportion accoutumée « de *coack,* se trouve diminuée de 30 pour 100 de valeur, et la quantité « est réduite des deux tiers ou des trois quarts. »

Cette combustion plus difficile dans les temps humides que dans les temps secs, observée constamment dans les hauts fourneaux, se fait également remarquer dans les foyers ordinaires. Chacun peut y observer que l'hiver, lorsque l'air est sec, le baromètre haut, et la température

---

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 4, pages 121 et 122. Ces faits, quoique vrais, sont peut-être un peu exagérés.

basse, la combustion est plus vive, la chaleur plus forte, le calorique rayonnant plus actif et plus piquant; tandis que, quand le ciel est nébuleux, l'air humide, le baromètre bas, le feu des foyers s'allume difficilement, le combustible brûle lentement, la chaleur est moins considérable, et le calorique rayonnant moins sensible.

396. Il serait possible que la différence dans les effets produits par l'air atmosphérique, dans l'été et dans l'hiver, pût être attribuée à deux causes : 1° à une masse d'oxigène plus petite, contenue dans un volume donné d'air; 2° à la plus grande quantité d'eau qui y est mélangée. Cette seconde cause ne présente aucune objection, puisque la vapeur de l'eau éteint le feu, et que l'air en contient une plus grande proportion l'été que l'hiver. La première exige un examen particulier. Les expériences eudiométriques, faites jusqu'à présent pour déterminer la composition de l'air atmosphérique, prouvent que la proportion d'oxigène est la même l'hiver que l'été, mais la masse de l'air est d'autant moins grande, sous un même volume, que sa température est plus élevée; ainsi le même volume d'air contient moins d'oxigène; mais on peut obtenir la même masse en augmentant le volume de l'air lancé, donc, en augmentant la vîtesse des machines soufflantes, cette augmentation qui a été prévue, non seulement n'améliore pas la fonte obtenue, mais même la rend souvent défectueuse.

Quoiqu'il soit facile d'inférer d'un raisonnement simple, appliqué aux belles expériences de Lavoisier et de Laplace, que l'air humide est pernicieux dans le travail du fer, en ce qu'il nécessite la consommation d'une quantité de charbon beaucoup plus considérable que celle que l'on emploie avec de l'air sec, pour produire la même température, nous avons cru devoir accumuler les preuves chimiques et métallurgiques, afin de persuader et de convaincre les personnes qui pourraient en douter; car, nous devons le dire, le maître de forge anglais, dont O'Relly a rapporté les expériences, n'est pas le seul qui croie encore aujourd'hui que la vapeur de l'eau favorise la combustion, nous avons souvent entendu des hommes très-instruits qui défendaient cette opinion avec chaleur, et comme l'opinion de ces savants doit avoir

une influence d'autant plus grande qu'ils ont acquis une plus haute et plus juste célébrité, il faut, pour les combattre, que la vérité soit accompagnée de toutes ses preuves.

On voit, par tout ce qui précède, que lors même que les trompes ne consommeraient pas plus d'eau que les cylindres de fonte, pour produire la même quantité d'air ; lors même qu'elles n'exigeraient pas une chûte considérable d'eau (ce qui empêche de les établir dans tous les pays) elles ont sur toutes les autres machines soufflantes, le désavantage de fournir un air chargé d'humidité, qui occasionne une dépense de charbon beaucoup plus considérable; et comme cette dépense se renouvelle dans tous les instants, elle forme, à la fin de chaque fondage, une somme d'autant plus forte, que la quantité de charbon l'est elle-même, et cette somme, qui est toujours très-grande, est en pure perte pour les maîtres de forge. Aussi, les trompes sont-elles, sous le rapport de la dépense du charbon, de très-mauvaises machines soufflantes, que l'on devrait détruire partout où elles existent, pour les remplacer par des machines qui produiraient de l'air sec : car, il est impossible d'établir de comparaison, non seulement entre les trompes et les cylindres de fonte, mais même entre elles et les soufflets de cuir que l'on avait reconnus jusqu'alors pour les machines soufflantes les plus mauvaises qu'il y eut.

Il ne nous reste plus à comparer maintenant que les cylindres à frottement et les caisses mues dans l'eau. Si l'on se contente de comparer les forces employées pour faire mouvoir ces machines, on est tenté, sans aucun autre examen, de regarder les caisses mues dans l'eau comme devant exiger moins de force pour produire la même quantité d'air, car on n'a à vaincre, avec ces sortes de machines, que le poids de la caisse, plus celui du frottement de l'eau qui est très peu de chose, tandis que, dans le cylindre, il faut vaincre le poids du piston, plus celui du frottement qui est ordinairement très-considérable : aussi est-on toujours tenté, au premier coup-d'œil, de faire usage des caisses à eau, et de les préférer à toutes les autres machines connues. Cependant, quoique ces machines aient été exécutées un grand nombre de fois, ce

qu'il y a de fort remarquable, c'est qu'elles ont toujours été abandonnées, et souvent même oubliées.

On peut expliquer la cause des usages et abandonnements successifs des caisses à air et à eau, en considérant que la plupart des personnes qui proposent et discutent les machines soufflantes ne les examinent que sous un rapport, celui de la force qu'elles emploient comparée au volume d'air qu'elles produisent; mais il y a une seconde manière de les considérer, et qui est plus essentielle, dans une foule de circonstances, que la première, c'est celle qui est relative à la nature de l'air qu'elles fournissent. Les rapports des forces ne présentent qu'une consommation d'eau plus ou moins grande, pour obtenir la même quantité d'air, et si ce liquide est abondant, la consommation plus ou moins grande est indifférente; si, au contraire, l'eau est peu abondante, tout se réduit à former un établissement moins considérable, ou à choisir un lieu plus convenable. Mais comme la nature de l'air produit par les machines soufflantes a une très-grande influence sur les frais journaliers, puisque (comme on l'a vu plus haut) il résulte de son état une consommation de charbon d'autant plus grande, que ce fluide élastique contient plus d'humidité; il s'ensuit que, dans tous les pays où ce combustible est très-cher, et où il est nécessaire d'employer tous ses soins pour l'économiser, on doit éviter de faire usage d'air humide.

D'après toutes ces considérations, il est facile de comparer entre eux les avantages et les inconvénients des caisses à eau et des cylindres. Les premières machines peuvent être mises en mouvement avec moins de force; mais aussi elles mettent l'air qu'elles aspirent, dans un contact continuel avec l'eau de la caisse; ce contact contribue à saturer d'eau l'air qu'elle contient, et le mouvement particulier de l'eau dans la caisse, occasionné par la variation du ressort de l'air aspiré et expiré, et par l'agitation continuelle de ce liquide, distribue dans ce fluide élastique des particules, des globules d'eau, qu'il entraîne et charrie dans son mouvement, d'où il résulte que l'air des caisses à eau, étant plus humide que celui des cylindres à frottement, nécessite une plus grande dépense

de charbon, et que ces derniers doivent être nécessairement préférés.

397. La discussion que nous avons établie sur les machines soufflantes peut s'étendre également sur les régulateurs. Nous avons vu que l'on fait usage de trois sortes de régulateurs : 1° à piston, 2° à cuve d'eau, 3° à cave. Les premiers sont des caisses ou des cylindres dans lesquels se meut, à frottement, une caisse ou un piston chargé d'un poids, et, par ce mouvement, l'espace dans lequel l'air se trouve comprimé par une force peu variable, augmente lorsqu'il arrive de l'air nouveau, et diminue lorsqu'il en sort ; les seconds sont de grands réservoirs d'eau recouverts d'une caisse, dans lesquels l'air de cette caisse est comprimé par le poids d'une colonne d'eau égale à la différence des deux hauteurs de l'eau à l'extérieur et à l'intérieur ; le troisième est un grand espace vide, dans lequel l'air, lorsqu'il est comprimé, entre par une ouverture et sort par une autre : l'orifice de sortie a des dimensions telles que pour qu'il sorte, dans un temps donné, par cet orifice, autant d'air que la machine soufflante en fait entrer, il faut que l'air intérieur ait une compression d'autant plus grande, que l'ouverture est plus petite, et cette compression peut être estimée par la hauteur d'une colonne d'eau ou d'une colonne de mercure. En comparant ces trois régulateurs entre eux, on voit d'abord que le régulateur à cuve d'eau a un désavantage considérable sur les deux autres, en ce que l'air qu'il retient séjourne sur l'eau, s'en sature, et que, de plus, le mouvement intérieur de l'eau détermine une supersaturation. Ce régulateur lançant dans les fourneaux un air constamment humide, doit être exclu à cause de la consommation inutile du charbon qu'il occasionnerait. Les caves paraîtraient, au premier aperçu, avoir de l'avantage sur les régulateurs à caisse ou à piston, parce qu'elles sont plus simples, qu'elles n'ont pas la complication apparente des machines, qu'elles paraissent exiger moins de soins et moins de réparations ; mais souvent il filtre, à travers les murs des caves, de l'humidité qui se vaporise dans l'air sec, et que l'on introduit avec perte de combustible dans les fourneaux. L'observation que M. Roeback a faite, dans les régulateurs des forges

de Davon en Écosse (1), prouve que l'air qu'il contenait était saturé d'humidité, puisqu'il devenait nuageux, opaque, qu'il formait un brouillard épais lorsque l'on diminuait un peu sa pression; mais aussi il observa qu'il s'infiltrait de l'eau par les parois, et qu'elle ruisselait sur le sol. Si l'on pouvait avoir des caves ou de grands réservoirs parfaitement secs, peut-être ce même phénomène n'aurait-il pas lieu. De plus, on observe assez ordinairement (2) « qu'en été, l'air se vicie « tellement dans les caves à réservoir, qu'il affecte la qualité des fers, « au point de les changer de fonte grise en une fonte blanche.

On peut conclure de ces observations, que quand les caves sont humides, comme celles des forges de Davon, les régulateurs à piston et à frottement doivent leur être préférés; mais lorsque ces grands réservoirs sont bien isolés, et qu'il ne s'infiltre pas d'eau dans leur intérieur, la préférence doit dépendre des localités, des premières dépenses, et des réparations annuelles. Lorsque les grands réservoirs sont secs, ils présentent l'avantage de rendre plus uniforme l'état hygrométrique de l'air lancé dans le fourneau; car lorsque la machine soufflante aspire un air dont l'humidité est variable, ce fluide élastique peut se répandre dans la masse de l'air contenu dans le régulateur, sortir dans un état plus uniforme, et enfin procurer une marche plus régulière au fourneau.

398. Nous avons considéré jusqu'ici la production de la chaleur que l'on obtient comme provenant uniquement de la combinaison de l'oxigène avec le carbone, cependant plusieurs causes concourent à la même production, et nous ne devons pas les négliger. Lavoisier (3) observe que « le carbone est susceptible de se dissoudre dans l'azote, et qu'il en « résulte un gaz azotique carbonisé », qui est encore inconnu. Comme toute combinaison de substance simple produit du calorique, il s'ensuit

(1) Journal des Arts et Manufactures, tome 3, page 36.
(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 4, page 121.
(3) Traité élémentaire de Chimie, tome 1, page 212.

que l'on doit d'abord considérer cette combinaison comme une cause de production de chaleur. L'eau, dont la décomposition exige l'emploi d'une grande quantité de calorique, fournit elle-même de la chaleur de deux manières différentes lorsqu'elle est décomposée en ses éléments et que ceux-ci sont en contact avec du charbon; la premiere, par la combinaison de son oxigène avec le carbone qui produit de l'acide carbonique ou de l'oxide de carbone; la seconde, par la combinaison de son hydrogène avec le carbone, pour produire de l'hydrogène carboné; et, comme nous avons négligé, jusqu'à ce moment, cette nouvelle manière de produire de la chaleur, il est nécessaire d'en tenir compte dans les résultats définitifs. Quoique cette augmentation soit sensible, comme nous n'avons encore aucune donnée sur sa quantité, il faut attendre que l'expérience ait prononcé pour l'indiquer; si, par exemple, elle était plus grande que celle que le charbon absorbe de l'hydrogène pour décomposer l'eau, il en résulterait que la vapeur d'eau allumerait le feu; si elle était égale, qu'elle n'introduirait aucun changement, et que, si elle était moindre, elle l'éteindrait; or l'expérience prouve qu'elle l'éteint, même lorsqu'elle est mélangée d'une petite quantité d'air atmosphérique; donc la somme de deux quantités de chaleur, produite par la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène avec le carbone, est moindre que celle qui se dégage de la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène pour former de l'eau.

Ainsi, dans l'air employé pour produire de la chaleur, trois substances concourent, par leur combinaison avec le carbone, à augmenter sa quantité: 1° l'oxigène, 2° l'azote, 3° l'hydrogène; mais de ces trois combinaisons, on ne connaît jusqu'à présent que la proportion de calorique dégagée, lors de la formation de l'acide carbonique par la combinaison de l'oxigène et du carbone, et l'on n'a encore aucune donnée sur les quantités de calorique que produisent les combinaisons de l'acide carbonique avec le carbone pour former de l'oxide de carbone, ni de celles qui résultent de la combinaison de l'azote et de l'hydrogène avec le carbone pour former les nouveaux gaz azote et hydrogène carboné: attendons, avant de prononcer sur ces quantités

de chaleur, que de nouvelles expériences nous aient procuré les moyens de les déterminer.

Quoiqu'il en soit de ces résultats, ce que l'on peut conclure de positif dans ce moment, c'est que, de toutes les différentes sortes d'airs atmosphériques, le plus propre à produire de la chaleur est l'air sec et froid, et que, de toutes les machines soufflantes celle que l'on doit préférer est le cylindre de fonte.

DES FONDANTS.

399. On appelle *fondants*, les substances que l'on ajoute aux minérais pour accélérer et aider leur fusion, et pour faciliter la séparation des matières étrangères qui y sont mélangées. Ces fondants sont métalliques, terreux ou inflammables; ils produisent, en se liquéfiant, des *mattes*, des *scories*, ou des *laitiers*, qui se séparent des métaux par leur plus grande légèreté et par leur plus grande facilité à se solidifier.

On a donné le nom de *mattes* à des sulfures métalliques qui se forment pendant la fusion des minéraux, et celui de *laitiers*, *laves* ou *scories*, aux substances terreuses qui se liquéfient à la température à laquelle les minérais sont exposés.

Grignon veut que l'on appelle *laves* les *scories* qui recouvrent la fonte dans les hauts fourneaux et qui coulent avec elle; il donne le nom de *laitier*, aux *scories* qui s'écoulent des fourneaux d'affinage et des chaufferies dans lesquels on prépare la loupe et où l'on chauffe le fer; enfin, il donne le nom de *scories*, aux écumes qui sortent dans une des préparations que l'on fait subir à la fonte, pour l'affiner, et à laquelle il donne le nom de *macération*.

Un grand nombre de métallurgistes donne indistinctement le nom de *scories* aux terres vitrifiées qui recouvrent la fonte dans le haut fourneau, et à celles qui la recouvrent dans les forges et dans les affineries. Dans la Table des matières, qui suit l'art de travailler le fer, décrite dans l'Encyclopédie par ordre de matières, on donne le nom de *laitier*, aux verres terreux qui recouvrent la fonte dans les hauts fourneaux, et

celui de *scories*, aux crasses qui s'en dégagent et qui la recouvrent dans les forges. Nous croyons devoir conserver ces deux dénominations, parce qu'elles s'accordent mieux avec leurs étymologies.

Les verres terreux, qui se forment dans la fonte des minérais, sont des substances distinctes du métal; souvent ils sont produits par les matières que l'on ajoute aux minérais dans la charge: plusieurs de ces verres sont gris, et par cela même se rapprochent davantage de la couleur du lait, d'où ce mot paraît dériver : les scories, au contraire, se séparent du fer crû lorsqu'on le fond de nouveau; c'est bien une espèce de crasse, d'écume que rend la fonte en l'affinant; et c'est en la débarrassant de cette crasse qu'on l'amène à un état de fer plus ou moins pur. Malgré cette distinction entre les laitiers et les scories, il arrivera quelquefois qu'à l'exemple des anciens métallurgistes, le nom de scories sera donné indistinctement aux deux substances, quoiqu'elles soient essentiellement différentes; cependant on conservera toujours, autant qu'il sera possible, celui de laitier aux verres fondus qui coulent des hauts fourneaux.

400. On a vu, dans la première partie du second chapître de cet ouvrage, combien les minérais de fer différaient les uns des autres par leur état d'oxidation, par la nature et par la proportion des substances qui les composent. Cette variation a donné naissance à plusieurs divisions qui sont nécessaires pour les faire apprécier et pour établir entre eux la distinction qu'ils présentent. Comme on se propose, dans cet article, de faire connaître les fondants qu'il faut ajouter à chaque espèce de minérai, il est naturel d'employer ici la division qui est relative aux fondants que l'on doit leur ajouter, et, sous ce rapport, les minérais de fer se divisent naturellement en deux classes : oxidule ou oxide de fer pur, et oxide de fer terreux.

Des Oxidules ou Oxides de fer purs.

401. Les oxidules et les oxides de fer purs ne devraient contenir aucune substance étrangère à l'oxide de fer. Les minérais oxidulés purs, quoique communs dans les cabinets, sont cependant rares dans

les mines, et par conséquent peu en usage dans les opérations métallurgiques, parce qu'il est difficile de séparer toutes les substances terreuses adhérentes au minérai que l'on va fondre : aussi les oxidules les plus purs, ceux de l'île d'Elbe, du val d'Aost, de Suède, et de beaucoup d'autres pays, sont-ils toujours souillés d'une portion plus ou moins grande de la gangue qui les accompagne.

Pour les métallurgistes, les oxides ou oxidules de fer purs sont ceux qui ne sont souillés que d'une très-petite quantité de terre, et dont les proportions ne passent pas, en poids, la sixième partie du minérai.

Ces sortes de minérais, assez abondants, sont connus des fondeurs, sous le nom de *mines sèches* (1); ils sont très-difficiles à traiter seuls et sans addition; et quoiqu'ils soient ordinairement très-riches, qu'ils puissent produire plus de 60 pour 100 en fer crû, qu'ils se fondent facilement, ils exigent cependant, relativement à la fonte que l'on en obtient, une consommation de charbon plus considérable que les mines terreuses qui sont d'une fusion plus difficile; ils donnent le plus souvent une fonte d'une qualité inférieure. Les fourneaux dans lesquels on fond des *mines sèches* et pures, exigent plus de soin, présentent plus de difficulté dans leur travail, et s'engorgent plus facilement.

402. On peut ranger, parmi les *mines sèches,* 1° les oxidules de fer purs; 2° plusieurs fers spathiques; 3° les oxides mélangés d'oxidules; 4° les oxides mamelonnés; 5° plusieurs oxides en roche (2).

Il est bon d'observer que ces cinq espèces et sous-espèces de minérais de fer, connues sous le nom de *mines sèches*, et qui présentent de grandes difficultés lorsque l'on veut les traiter seules et sans addition dans les hauts fourneaux, sont, au contraire, traitées, fondues et affinées avec la plus grande facilité dans les bas fourneaux, par les méthodes connues sous les noms de *méthode de Corse* et de *méthode à la Catalanne*, tandis que plusieurs minérais qui se fondent facilement et avec peu de charbon

(1) Duhamel, Mémoire de l'Académie des sciences, année 1786, page 456.

(2) *Idem*.

dans les hauts fourneaux, sont intraitables ou très-difficiles à traiter dans les fourneaux d'affinerie; tels sont, par exemple, les minérais de fer en grains, sur lesquels Diétrich fit des tentatives qui ne lui donnèrent que de très-faibles résultats. Cette différence d'action du feu des fourneaux d'affinerie sur les *mines sèches* et les *mines terreuses*, prouve que les premières sont plus fusibles que les secondes, et que ce n'est pas à cause de leur difficile fusibilité qu'elles sont traitées avec tant de désavantage aux hauts fourneaux, puisque les mines terreuses et en grains, moins fusibles et moins riches, y sont fondues avec facilité, et que la fonte qu'elles produisent exige une consommation de charbon moins considérable.

Examinons un moment pourquoi les oxidules et oxides de fer purs présentent tant de difficultés pour les traiter au haut fourneau.

403. Lorsque les oxides et oxidules de fer purs sont jetés dans le haut fourneau par le gueulard, et qu'ils sont environnés de charbon, ils s'échauffent à mesure qu'ils descendent avec la charge, et ils se désoxident peu à peu, tant par leur contact avec le charbon, que par les gaz carbonés qui les pénètrent; ce contact étant continué, le charbon se combine avec le fer lorsqu'il ne rencontre plus d'oxigène. Le minérai descend ainsi dans l'espace formé par les étalages; là, il éprouve une température propre à le faire fondre; il se liquéfie et coule, goutte à goutte, à travers les charbons, pour tomber dans le creuset.

Au moment où le minérai de fer entre en fusion, il est combiné avec une quantité suffisante de carbone pour produire d'excellente fonte; mais lorsqu'il descend dans l'ouvrage, qu'il traverse des tranches remplies de charbon et d'air lancé par les machines soufflantes, cet air, qui passe rapidement à travers la petite masse de charbon qui remplit l'ouvrage, contient encore, dans son passage, une quantité d'oxigène considérable, et chaque goutte de fer fondu qui se trouve exposée à son action, se brûle en partie et s'oxide.

Le premier effet de l'oxigène est de brûler le carbone combiné avec le fer, parce qu'il a plus d'affinité avec le premier qu'avec le second; mais la goutte de métal fondu, continuant à descendre, traverse de

nouvelles tranches d'air qui sont, par leur position, plus oxigénées que les précédentes, puis elles arrivent vis-à-vis la tuyère; là, l'oxigène se porte en masse sur la goutte de fer fondu, la brûle en lui *faisant jeter des étincelles comme une gerbe d'artifice* (1). Le fer, réduit en partie à l'état d'oxide, tombe dans le creuset. Le peu de terre de la gangue, restée unie au minérai, et qui s'est fondue aussi, se combine avec l'oxide de fer, et produit, par cette combinaison, un laitier noir, très-riche en fer, qui peut être comparé aux scories de forge. Cette combinaison diminue la quantité de fonte que l'on aurait dû avoir. Indépendamment de la diminution de la masse, la fonte perd encore de sa fluidité; elle éprouve une plus grande réduction, elle coule lentement et passe avec le peu de *laitier sec, en s'attachant aux parois du fourneau* (2), d'où il résulte trois grands inconvénients: 1° diminution du fer; 2° fonte trop oxidée; 3° tendance à engorger le fourneau.

Ces trois inconvénients ont déterminé les maîtres de forge, dans un grand nombre de circonstances, à rejeter des minérais de fer extrêmement riches, parce qu'ils étaient trop purs et qu'ils leur présentaient de trop grandes difficultés pour les traiter, et cela parce qu'ils ne connaissaient pas le mode qui devait leur être appliqué. Il existe, dans plusieurs terrains primitifs de l'Empire français, des mines de fer oxidulé dont on néglige l'exploitation, parce qu'elles occasionneraient plus de dépenses dans les hauts fourneaux, pour en obtenir de la fonte d'une bonne qualité, par la méthode ordinaire, que les mines de fer terreuses que l'on traite habituellement.

Nous nous rappelons d'avoir vu, sur les *haldes* de la célèbre mine de fer de Framont, de très-gros morceaux d'oxide de fer mamelonné rouge, de vraies hématites, que l'on y avait abandonnés. Ayant demandé aux personnes qui nous accompagnaient la cause de cet abandonnement, elles nous répondirent que ces minérais étaient trop difficiles à fondre.

---

(1) Duhamel, Mémoire de l'Académie des sciences, année 1786, page 460.

(2) Duhamel, *Idem*, page 459.

404. Puisque la difficulté que présentent les *mines sèches* à être traitées provient de l'action que l'oxigène a sur le fer fondu, lorsqu'il tombe goutte à goutte, et de l'oxidulation que les globules éprouvent en traversant l'ouvrage, le remède le plus naturel, le plus simple, doit être de mélanger des matières terreuses, vitrifiables, avec les minérais purs. Lorsque le fer est fondu, et que chaque goutte est enveloppée d'une couche plus ou moins épaisse de verre terreux, de laitier, celle-ci défend le métal de l'action de l'oxigène, et chaque goutte tombe dans le creuset sans avoir été sensiblement altérée en passant devant la tuyère : de-là il résulte : 1° que le fer, en tombant, conserve son carbone, et qu'il peut être plus facilement *carburé* qu'oxidé; 2° que l'on peut obtenir de la fonte grise, si le minérai est resté assez long-temps en contact avec les charbons avant que les verres terreux qui doivent l'envelopper ne soient fondus; 3° que le laitier est plus pur, qu'il contient moins de fer, parce qu'il trouve moins d'oxide de ce métal qui puisse se combiner avec lui : de-là que la quantité de fonte en est moins diminuée; 4° enfin, qu'en mélangeant des terres qui aient une forte action l'une sur l'autre, et en les mélangeant dans une proportion convenable, on peut obtenir le laitier dans l'état de liquidité la plus favorable au travail.

Cette addition de matières terreuses vitrifiables, pour augmenter la proportion du laitier, a été reconnue nécessaire et avantageuse par tous les fondeurs intelligents et par tous les métallurgistes instruits.

En Suède, où le travail du fer a fait, depuis un grand nombre d'années, des progrès rapides sous les hommes célèbres que le Gouvernement a placés à la tête de l'administration des fonderies de fer, et où il y existe des mines d'oxidules purs et en grande abondance, on mélange toujours, avec les minérais très-purs et très-riches, d'autres minérais plus pauvres contenant diverses terres, afin d'augmenter la masse du laitier. Garney observe (1) que, lorsque les minérais sont tellement

(1) Traité de la Fonte des minérais de fer, 2e partie, chapitre 2, article 3.

riches qu'ils donnent à l'essai plus de 0,50, ils éprouvent, dans le travail, un déchet de 0,10 à 0,20, tandis que, lorsqu'ils sont mélangés de manière à produire moins de 0,50, ils ne donnent que 0,02 à 0,06 de perte. La mine spéculaire, dit Tiemann (1), serait trop difficile à fondre seule, il faut la mélanger avec une mine argileuse, et y ajouter de la *castine;* la mine de fer magnétique, dit le même métallurgiste, §. 304, doit être mélangée avec d'autres minérais; seule, elle fondrait mal, parce qu'elle contient trop peu de parties terreuses pour produire les scories qui lui sont nécessaires. Dans les forges de *Moss*, en Norwège, où l'on fond des minérais oxidulés, on mêle diverses variétés de minérais plus ou moins riches; on en mêle jusqu'à vingt-cinq espèces ou variétés, environ; ce mélange est tel qu'il rend 0,36 (2). Les minérais fondus à *Laurwig*, en Norwège, sont tirés des mines d'*Arendal;* ils sont variés dans leurs espèces et dans leur produit, et la plupart sont attirables à l'aimant : on mêle ces diverses espèces ensemble pour les fondre, afin d'en obtenir un bon fer (3).

405. Puisqu'il est nécessaire, pour avoir un bon *fondage,* que le minérai pur soit mélangé de terre, afin de l'environner de laitier lorsque chaque goutte fondue passe devant la tuyère, une question intéressante serait de déterminer la proportion de terre qui doit être combinée avec le minérai.

Grignon (4) rapporte que, sur un mélange de dix parties de minérai terreux en grains, et une de castine, il a obtenu deux parties pondérables de laitier sur une de fer.

Duhamel (5) annonce que, d'après diverses observations faites durant la fusion des minérais de fer dans les hauts fourneaux, il a reconnu

---

(1) Traité systématique des forges et fonderies de fer, §. 302,

(2) Voyage métallurgique, vol. 1, page 170.

(3) *Idem*, vol. 1, page 164 à 165.

(4) Mémoire de Physique.

(5) Mémoire de l'Académie des Sciences, année 1786, page 462.

que, en général, le volume du laitier devait être au moins quatre ou cinq fois plus grand que celui du régule métallique, *sans quoi la fonte que l'on en obtient ne contient pas tout le fer qui était dans le minérai, et celui qui en résulte est rarement de bonne qualité*. La pesanteur spécifique des laitiers varie entre 2,400 et 3,200; la densité moyenne est donc de 2,800 : la pesanteur spécifique de la fonte de fer varie entre 7,000 et 8,000; la moyenne est donc de 7,500 : si le volume du laitier est quatre ou cinq fois plus fort que celui de la fonte, son poids sera entre 1,5 et deux fois celui du fer crû; ce qui s'accorde avec la quantité que Grignon en a retirée. Cependant tout fait croire que l'on peut obtenir un bon fer, et qu'un fourneau peut être bien conduit, lorsque le minérai rend des poids égaux de fonte et de laitier, ou que le volume de celui-ci est trois fois celui de la fonte, enfin, lorsque le minérai rend 0,40 : cependant les deux fourneaux de Carinthie, de la famille de Rauscher, qui ne consument que 95 parties de charbon par 100 de fonte, celui de Feystritz, également en Carinthie, qui consume 99 parties de charbon par 100 de régule, fondent des minérais qui rendent 0,45 de fer crû; mais aussi celui des Bénédictins de Rettelstein, en Styrie, qui ne consume que 66 parties de charbon par 100 parties de fonte, emploie un minérai qui ne produit que 0,27 de régule.

406. On peut se procurer la quantité de laitier nécessaire pour obtenir un bon fondage, de deux manières : 1° en mélangeant ensemble des minérais qui contiennent des proportions de terre très-différentes; les terres peuvent, ou être combinées dans des minérais terreux pauvres, ou faire partie de la gangue des mines; 2° en ajoutant aux minérais des terres propres à produire la quantité de laitier la plus favorable, et dont la nature et les proportions soient telles, qu'elles puissent se fondre aisément.

Assez ordinairement on emploie le premier moyen, et l'on fait quelquefois venir, à grands frais, et de fort loin, des minérais pauvres; ce qui occasionne de grandes dépenses, ainsi que l'observe Duhamel (1).

---

(1) Mémoire de l'Académie des Sciences, année 1786, page 462.

Lorsque l'on a à sa proximité des minérais pauvres, mélangés ou combinés avec des terres de facile fusion, il est bon de préférer ces substances à toutes les autres, pour les mélanger avec les minérais riches; mais si l'on n'avait pas de minérais pauvres dans un lieu très-rapproché de l'usine, on pourrait faire des mélanges terreux qui contiendraient les proportions et la nature des terres les plus favorables à une bonne fusion, et à la ténacité qu'il faut que le laitier ait pour rester adhérent au fer et couvrir chacun des globules qui passent devant la tuyère.

Nous allons examiner, dans la seconde classe des minérais, quelles sont et la nature et la proportion des terres les plus favorables à une bonne fusion.

Des Oxides de fer terreux.

407. Quoique les minéralogistes ne distinguent, comme mines de fer terreux, que celles qui ont été indiquées sous le nom d'*oxide terreux*, parmi lesquelles les terres sont dans un état de combinaison ou de mélange si intime, que l'on ne peut les séparer que par l'analyse chimique, les fondeurs désignent, cependant, sous le nom d'oxides de fer terreux, tous les minérais qui contiennent des terres en quantité assez considérable pour envelopper de laitier les globules de fonte, et cela, parce que le but que l'on se propose principalement, est d'employer, pour faciliter la fusion, les terres que contiennent les minérais. Ainsi, on comprend également ici, comme mines terreuses, les oxidules de fer, les fers spathiques, les oxides oxidulés, les oxides mamelonnés, les oxides compactes, avec les oxides terreux proprement dits, lorsque les premiers sont souillés d'une quantité de terre ou de pierres assez grande pour qu'elles puissent être considérées dans leur traitement comme des mines terreuses.

Nous observons encore une fois que tout ce que nous allons dire sur le traitement des mines terreuses et sur les qualifications qui leur sont données, ne doit pas être appliqué au minérai choisi, trié, séparé de sa gangue; ni au minérai tel qu'il sort de la terre, avant de

lui avoir fait subir les différentes opérations qui le disposent à la fusion, et qui ont été indiquées sous le titre de *lavage, cassage, grillage exposition à l'air*, etc. Nous ne considérons le minérai que dans l'état particulier où il se trouve, lorsqu'il a été déposé à la fonderie, après avoir subi ces opérations, et lorsqu'il est encore mélangé de toutes les impuretés avec lesquelles on le charge dans le haut fourneau. Dans cet état, il est souvent très-différent de celui que l'on rassemble dans les cabinets, et que le docimasiste essaie; il présente aussi des résultats qu'il serait impossible de prévoir et de conclure d'après des échantillons de choix, sur lesquels on forme des théories plus propres à égarer qu'à éclairer le métallurgiste dans ses opérations.

DE LA FUSIBILITÉ DES TERRES ET DES PIERRES QUI ACCOMPAGNENT LES MINÉRAIS, ET DE CELLES QU'ON LEUR AJOUTE.

408. Les oxidules métalloïdes qui s'extraient ordinairement dans les terrains primitifs, sont accompagnés d'actinote, de hornblende, de grenats compactes, de jaspe ou silex ferrugineux, d'asbest, de feldspath, de chaux carbonnatée, de chaux fluatée (1), de stéatite, de serpentine (2); quelques oxidules, exploités dans des terrains bouleversés, sont mélangés d'argile.

Les fers spathiques ont des gangues quartzeuses, micacées, stéatiteuses, schisteuses, argileuses et calcaires (3).

Les oxides oxidulés sont accompagnés des mêmes substances que les oxidules métalloïdes.

Les oxides mamelonnés et les oxides compactes, lorsqu'ils sont en

---

(1) Garney, deuxième partie, chapitre 2, §. 2, 3 et 4.

(2) Ces deux substances se trouvent dans les oxidules du Val-d'Aost.

(3) Nous ne parlerons pas de la magnésie qui est partie constituante du fer spathique, parce que cette terre est enlevée par l'exposition de ces minérais à l'action de l'air et de l'eau, lorsqu'ils ont été grillés.

gits réglés dans des terrains primitifs, sont accompagnés des mêmes substances que les oxides métalloïdes et les fers spathiques, et cela selon la nature des minérais parmi lesquels on les trouve; mais lorsqu'ils ont été transportés, par suite de bouleversements, ils sont souvent accompagnés d'argile, de chaux, etc.

Enfin, les mines terreuses contiennent des mélanges ou des combinaisons de terres siliceuses, argileuses et calcaires, et très-rarement de la magnésie.

Chacune des terres, ou des pierres mélangées ou combinées, sont différemment fusibles. Gerhard (1) est le premier qui ait examiné les degrés de fusibilité des substances minérales terreuses des gangues qui accompagnent les minérais métalliques. Ses essais ont été faits dans trois sortes de creusets; d'argile, de chaux et de charbon, afin de connaître l'influence des matières des creusets sur les minéraux; ses creusets ont été exposés au feu d'un fourneau d'essais. Klaproth (2) a depuis répété les expériences de Gerhard, dans des creusets d'argile et de charbon, et cela en les exposant dans un four à porcelaine. Comme, dans les hauts fourneaux, les minérais sont continuellement en contact avec du charbon, les seuls essais qui puissent être comparables aux résultats des travaux en grand sont ceux qui ont été faits dans les creusets de charbon; nous allons donc rapporter ici le tableau des produits obtenus des expériences entreprises, par ces deux savants, sur les minéraux terreux qui accompagnent les minérais de fer.

---

(1) Académie des Sciences de Berlin, année 1781, pages 80 et suivantes.

(2) Mémoire de Chimie, contenant des analyses de minéraux, par Henri Klaproth; traduit par Tassaert, 1807. Paris, tome 1, pages 12 et suivantes.

TABLEAU de la Fusibilité de la matière des gangues des minérais de fer.

NOMS DES SUBSTANCES.	RÉSULTATS OBTENUS PAR GERHARD.	RÉSULTATS OBTENUS PAR KLAPROTH.
Quartz	infusible.	infusible.
Jaspe	infusible.	infusible.
Feldspath	fondu	scorifié.
Hornblende		durcie et infusible.
Grenat	fondu	fondu.
Actinote		scorifié.
Asbest	infusible.	infusible.
—— de Groenland		scorifié.
—— de Taberg		scorifié.
Stéatite	infusible.	
Talcs	infusible.	infusible.
Serpentine	peu fusible.	infusible.
Mica	fusible	fondu.
Spath-fluor	fusible	scorifié.
Schiste argileux	fusible	
Argile	plus ou moins fusible.	scorifié.
Calcaire	infusible.	
Spath perlé		infusible.
Gypse	infusible.	infusible.

On voit, d'après ce tableau, que parmi les substances de la gangue qui sont mélangées avec les minérais de fer, le feldspath, les grenats, l'actinote, le mica, la chaux fluatée, le schiste argileux, sont les seuls qui soient fusibles ou *scorifiables*. En effet, les minérais de Presberg, dont la gangue est composée d'actinote et de grenats (1), sont très-

(1) Garney, livre 2, chapitre 3, section 3.

TABLEAU des Compositions des Substances qui forment les gangues des mines de fer.

SUBSTANCES.	SILICE.	CHAUX.	ALUMINE.	MAGNÉSIE.	OXIDE DE FER.	MATIÈRE ACCIDENTELLE.	QUANTITÉ.	ANALYSTES.
Silex	0,98		0,09					
Jaspe	0,75		0,20		0,05			Klaproth.
Feldspath adulaire	0,64	0,02	0,20			potasse.	0,14	Vauquelin.
— vert	0,63	0,03	0,17		0,01	*idem*	0,13	*Idem.*
— pétunzé	0,74	0,055	0,145					*Idem.*
— commun	0,65	0,05	0,15			potasse.	0,14	*Idem.*
Hornblende	0,54	0,04	0,27	0,01	0,09			Bergmann.
Idem	0,57	0,02	0,22	0,16	0,23			Kirwan.
Idem	0,42	0,10	0,08	0,11	0,23			Laugier.
Grénats de Bohême	0,40	0,035	0,285	0,10	0,165	oxide de mang.	0,0025	Klaproth.
— de Lyra	0,337		0,272		0,36	*idem*	0,0025	*Idem.*
Grénats de Bohême	0,36	0,03	0,22		0,41			Vauquelin.
— rouge du pic d'Eres-lids	0,52	0,077	0,20		0,17			*Idem.*
— noir	0,43	0,20	0,16		0,16			*Idem.*
— jaune	0,38	0,31	0,20		0,10			*Idem.*
— noir de Frascati	0,34	0,33	0,064		0,255			Klaproth.
Actinote	0,50	0,10	0,01	0,19	0,11	chrôme	0,05	Laugier.
Asbeste amiante	0,59	0,09	0,03	0,25				Chenevix.
Idem	0,60	0,09	0,03	0,19	0,03			Ecole de Moutier.
Idem	0,46	0,06	0,07	0,22	0,08			*Idem.*
Stéatite	0,54		0,36		0,0075	potasse.		Klaproth.
— pagodite	0,56	0,02	0,29		0,01	*idem*	0,07	Vauquelin.
— commune	0,48		0,14	0,205	0,01			Klaproth.
— *Idem*	0,595			0,305	0,025			*Idem.*
— *Idem*	0,64		0,05	0,22	0,05			Vauquelin.
Talc graphique	0,62		0,24		0,05			Klaproth.
— granuleux	0,50	0,015	0,26		0,05	potasse.	0,175	Vauquelin.
— commun	0,62		0,15	0,25	0,034			*Idem.*
Serpentine	0,07			0,38	0,15			Viegleb.
— de Corse	0,23	0,01	0,06	0,36	0,14			Ecole de Moutier.
Schiste argil. tégulaire	0,38	0,04	0,26	0,08	0,14			Kirwan.
Argile collyrite	0,14		0,45			eau	0,42	Klaproth.
— cymolite	0,63		0,23		0,01	*idem*	0,12	*Idem.*
— plastique	0,43	0,03	0,33		0,01	*idem*	0,18	Vauquelin.
	0,63	0,01	0,16		0,08	*idem*	0,10	*Idem.*
— feuilletée	0,66	0,01	0,07	0,01	0,10	*idem*	0,19	Klaproth.
— d'Arcueil	0,63		0,32		0,04			
— à Porcelaine St.-Yriex	0,62		0,19	0,12				Hassenfratz.
— de Wedgwood	0,76		0,24					*Idem.*
— de Lemnos	0,47	0,054	0,19	0,062	0,054			Bergmann.
— d'Osmonde	0,60	0,057	0,111	0,050	0,047			*Idem.*
Chaux carbonatée		0,55				eau acide carbon.	0,11 0,34	*Idem.*
— spath perlé		0,528				eau acide carbon.	0,1056 0,326	Berthollet.
— aluminifère		0,443	0,059	0,014	0,0074	acide carbon.	0,46	Saussure.
— sulfate gypse		0,32				eau acide sulfuriq.	0,22 0,46	Fourcroy.

d'autre part pour connaître l'action que les terres exercent les unes sur les autres, d'où l'on peut déterminer quels sont les mélanges des minérais terreux les plus propres à favoriser leur fusion réciproque. Nous allons, par une conséquence naturelle de ces connaissances, présenter, d'abord, le tableau des analyses qui ont été faites des différents minéraux qui forment les gangues des mines de fer, puis nous ferons connaître les expériences qui ont été entreprises pour déterminer les mélanges terreux les plus favorables à leur fusion.

TABLEAU des Compositions des Substances qui forment les gangues des mines de fer.

SUBSTANCES.	SILICE.	CHAUX.	ALUMINE.	MAGNÉSIE.	OXIDE DE FER.	MATIÈRE ACCIDENTELLE.	QUANTITÉ.	ANALYSTES.
Silex	0,98		0,09					
Jaspe	0,75		0,20		0,05			Klaproth.
Feldspath adulaire	0,64	0,02	0,20			potasse.	0,14	Vauquelin.
— vert	0,63	0,03	0,17		0,01	*idem*	0,13	*Idem.*
— pétunzé	0,74	0,055	0,145					*Idem.*
— commun	0,65	0,05	0,15			potasse.	0,14	*Idem.*
Hornblende	0,54	0,04	0,27	0,01	0,09			Bergmann.
Idem.	0,57	0,02	0,22	0,16	0,23			Kirwan.
Idem.	0,42	0,10	0,08	0,11	0,23			Laugier.
Grénats de Bohême	0,40	0,035	0,285	0,10	0,165	oxide de mang.	0,0025	Klaproth.
— de Lyra	0,337		0,272		0,36	*idem*	0,0025	*Idem.*
Grénats de Bohême	0,36	0,03	0,22		0,41			Vauquelin.
— rouge du pic d'Eres-lids	0,52	0,077	0,20		0,17			*Idem.*
— noir	0,43	0,20	0,16		0,16			*Idem.*
— jaune	0,38	0,31	0,20		0,10			*Idem.*
— noir de Frascati	0,34	0,33	0,064		0,255			Klaproth.
Actinote	0,50	0,10	0,01	0,19	0,11	chrôme	0,05	Laugier.
Asbeste amiante	0,59	0,09	0,03	0,25				Chenevix.
Idem	0,60	0,09	0,03	0,19	0,03			Ecole de Moutier.
Idem	0,46	0,06	0,07	0,22	0,08			*Idem.*
Stéatite	0,54		0,36		0,0075	potasse.		Klaproth.
— pagodite	0,56	0,02	0,29		0,01	*idem*	0,07	Vauquelin.
— commune	0,48		0,14	0,205	0,01			Klaproth.
— *Idem*	0,595			0,305	0,025			*Idem.*
— *Idem*	0,64		0,05	0,22	0,05			Vauquelin.
Talc graphique	0,62		0,24		0,05			Klaproth.
— granuleux	0,50	0,015	0,26		0,05	potasse.	0,175	Vauquelin.
— commun	0,62		0,15	0,25	0,034			*Idem.*
Serpentine	0,07			0,38	0,15			Viegleb.
— de Corse	0,23	0,01	0,06	0,36	0,14			Ecole de Moutier.
Schiste argil. tégulaire	0,38	0,04	0,26	0,08	0,14			Kirwan.
Argile collyrite	0,14		0,45			eau	0,42	Klaproth.
— cymolite	0,63		0,23		0,01	*idem*	0,12	*Idem.*
— plastique	0,43	0,03	0,33		0,01	*idem*	0,18	Vauquelin.
	0,63	0,01	0,16		0,08	*idem*	0,10	*Idem.*
— feuilletée	0,66	0,01	0,07	0,01	0,10	*idem*	0,19	Klaproth.
— d'Arcueil	0,63		0,32		0,04			
— à Porcelaine St.-Yriex	0,62		0,19	0,12				Hassenfratz.
— de Wedgwood	0,76		0,24					*Idem.*
— de Lemnos	0,47	0,054	0,19	0,062	0,054			Bergmann.
— d'Osmonde	0,60	0,057	0,111	0,050	0,047			*Idem.*
Chaux carbonatée		0,55				eau acide carbon.	0,11 0,34	*Idem.*
— spath perlé		0,528				eau acide carbon.	0,1056 0,326	Berthollet.
— aluminifère		0,443	0,059	0,014	0,0074	acide carbon.	0,46	Saussure.
— sulfate gypse		0,32				eau acide sulfuriq.	0,22 0,46	Fourcroy.

DES EXPÉRIENCES ENTREPRISES POUR DÉTERMINER LA FUSIBILITÉ DES TERRES.

410. Le célèbre Pott paraît être le premier qui ait entrepris des expériences pour déterminer le degré de fusibilité des terres; depuis lui ces mêmes expériences ont été répétées par *Cramer, Gilbert, Poerner, Homberg, Bergmann, Achard, Macquer, Guyton, Kirwan, Klaproth, Gerhard, Tiemann, Chaptal, Lampadius, Lelievre, etc.* Nous croyons inutile de rapporter ici les détails des diverses expériences qui ont été publiées dans plusieurs ouvrages, et dont on trouve un extrait clair et lumineux dans l'excellent ouvrage que Chaptal vient de publier (1).

Ces expériences ont été faites de plusieurs manières différentes: 1° par Homberg, Macquer, Lavoisier, Kirwann, à l'aide d'un miroir ardent; 2° par Lavoisier, Erhmann, Guyton, Geyer, avec un chalumeau de gaz oxigéné; 3° par Bergmann, Saussure, Lelièvre, avec un chalumeau d'air atmosphérique; 4° par Darcet, Achard, Klaproth, dans un fourneau de porcelaine; 5° par Achard, Gerhard, Guyton, Kirwan, Chaptal, Tiemann, Lampadius, etc., dans des fourneaux d'essais, chauffés à différentes températures.

Les premières expériences faites dans le fourneau de porcelaine et dans les fourneaux d'essais, présentèrent quelque incertitude, parce que les terres étaient placées dans des creusets d'argile, pour être exposés à la chaleur des fourneaux, et que, dans plusieurs circonstances, la matière des creusets influe sur la fusibilité de plusieurs terres: c'est ainsi que la chaux carbonatée, le gypse, la stéatite, les mélanges de chaux et de magnésie se fondaient en partie dans des creusets d'argile, tandis qu'elles n'éprouvaient aucune action lorsqu'elles étaient isolées.

Pott avait déja observé cette action des creusets, puisqu'il avait trouvé qu'un mélange de craie et de spath fusible, fondait dans un

(1) Chimie appliquée aux arts. Paris, chez Déterville, libraire, rue Hautefeuille, n° 8. 1807. Tome 1er, pages 245 et suivantes.

creuset d'argile, tandis qu'il sortait intact du creuset noir, connu anciennement sous le nom de *creuset de molybdène*, et aujourd'hui sous celui de *plombagine;* mais les docimasistes qui le suivirent, jusqu'à Gerhard, négligèrent cette observation. Depuis, Gerhard, Klaproth, Lampadius, ont fait leurs essais dans des creusets différents : le premier dans des creusets d'argile, de craie et d'argile brasquée avec de la poussière de charbon; le second et le troisième dans des creusets d'argile et d'argile brasquée; dans ces derniers, les matières à essayer étaient environnées de poussière de charbon.

En général, lorsqu'on ne veut comparer que la fusibilité des terres entre elles, les expériences faites dans des creusets brasqués donnent des résultats assez exacts; mais lorsque l'on veut connaître l'action des oxides métalliques sur les terres, particulièrement de l'oxide de fer, le charbon pouvant enlever l'oxigène combiné au métal, détruit en partie, souvent même en totalité, l'effet des oxides. Nous allons examiner séparément les résultats que l'on a obtenus, soit en exposant les terres simples à l'action de la chaleur, soit en les combinant dans diverses proportions.

Des Terres simples.

411. Toutes les expériences faites jusqu'à présent sur la fusibilité des terres, s'accordent à faire considérer les quatre terres, qui entrent dans les gangues des minérais de fer et dans la composition des oxides terreux, telles que la silice, la chaux, l'alumine et la magnésie, comme étant infusibles à la plus haute température que nous puissions obtenir dans nos fourneaux, et cela lorsqu'elles sont pures, seules et isolées.

Malgré leur infusibilité apparente lorsqu'elles sont seules, il paraît, d'après les expériences de Chaptal (1), que de ces quatre terres, la magnésie est la plus difficile à fondre; car après les avoir mêlées avec deux parties de borax calciné, et les avoir exposées dans des petits

(1) Chimie appliquée aux arts, volume 4, pages 255, 256.

creusets d'argile, sous la moufle d'un fourneau de coupelle, à une chaleur de 22 à 26 degrés du thermomètre de Wedgwood, la silice, l'alumine et la chaux produisirent de beaux verres transparents; la magnésie ne donna qu'un verre demi-transparent, un peu laiteux, ayant l'aspect d'une gelée.

Il paraît encore, d'après les expériences de Saussure (1), que la silice est la plus fusible des trois terres, et que la chaux et l'alumine ont une fusibilité à-peu-près égale, puisque le cristal de roche se réduit au chalumeau, et produit un globule de 0,1014, tandis que le marbre de Carrare, le calcaire compacte du Mont-Salève, ne forment que des globules de 0,1004, que l'argile aérée et cristallisée de Hall produit un globule de 0,1004, et la terre d'alun purifiée un globule de 0,1003.

Il paraîtrait que l'on pourrait conclure, de ces résultats, que l'ordre de fusibilité des quatre terres serait : silice, chaux, alumine, magnésie.

Combinaisons binaires.

« Les combinaisons binaires (2) des quatre terres (silice, chaux, alumine, magnésie,) sont infusibles dans nos fourneaux, quelles que soient leurs proportions, un cas excepté, le mélange à parties égales de la chaux et de la silice qui forme un émail à une chaleur qui surpasse le 150e degré du thermomètre de Wedgwood. »

Combinaison ternaire au 150e degré de Wedgwood.

Chaux, Magnésie et Alumine.

« 1° Le mélange de ces trois terres, dans lesquelles la magnésie prédomine, n'est jamais fusible au-dessous du 160e degrés de Wedgwood.

---

(1) Journal de Physique, année 1794, tome 2, pages 3 et suivantes.

(2) Tous ces résultats sont copiés littéralement de deux ouvrages : 1° Traité systématique des forges et fonderies par Guillaume-Albert Tiemann, pages 194 et suivantes. Cet ouvrage a été imprimé à Nurimberg, en 1801. 2° De la Chimie appliquée aux arts, par Chaptal, vol. 1, pages 266 et suivantes.

Combinaisons quaternaires.

Sur cinquante-six expériences rapportées par Achard (1), vingt-quatre mélanges des quatre terres ont produit un verre transparent, vingt-six ont produit des masses opaques plus ou moins vitrifiées, six ont produit une matiere pulvérulente; les proportions des éléments, dans ces six expériences, sont :

SUBSTANCES.	EXPÉRIENCES.					
	1re	2e	3e	4e	5e	6e.
Silice	1	1	1	1	1	1.
Chaux	2	1	3	3	3	3.
Alumine	1	2	1	2	1	3.
Magnésie	2	2	1	2	3	3.

Lampadius (2) rapporte trois expériences d'essais de fusion du mélange des quatre terres, dans lesquelles les proportions étaient :

SUBSTANCES.	EXPÉRIENCES.		
	1er	2e	3e
Silice	1	1	1.
Chaux	1	3	3.
Alumine	1	2	2.
Magnésie	1	1	2.

Ces mélanges ont été mis dans des creusets brasqués; le premier a produit une espèce de porcelaine, le deuxième et le troisième étaient complètement fondus.

Quant aux autres combinaisons terreuses, essayées par Lampadius, dans des creusets brasqués, voici les résultats qu'il rapporte (3).

---

(1) Mémoire de l'Académie de Berlin, année 1780, pages 4 et suivantes.

(2) Journal des Mines, tome 18, page 76.

(3) *Idem*, pages 182 et 183.

une chaleur de 166 degrés, lors même que ces deux substances sont mêlées à parties égales; mais quand l'oxide de fer est à l'alumine, soit dans le rapport de 4 à 3, soit dans celui de 2 à 1, les mélanges sont fusibles au même degré de chaleur.

« 4° La silice et l'oxide de fer paraissent infusibles toutes les fois que la silice est en excès; mais, dans les cas contraires, leur mélange est fusible. »

D'après une belle suite d'expériences faites par Lampadius, sur la fusion du mélange des terres avec les oxides métalliques, ce savant métallurgiste conclut (1) « que les oxides métalliques exercent une action dissolvante plus ou moins grande sur les terres; l'oxide de plomb paraît posséder cette action au plus haut degré : vient ensuite celui du fer, puis celui de cuivre, enfin celui d'étain. L'alumine est la terre qui se dissout le plus aisément dans les oxides, puis et successivement, la silice, la chaux, la magnésie. Ici l'on voit que les alliages qui contiennent de l'oxide de fer ou de cuivre, fondent plus aisément dans les creusets d'argile, et ceux de plomb et d'étain dans des creusets brasqués. »

413. Dans toutes les expériences dont on vient de rapporter les résultats, on considère l'action du fer exercée sur les terres pures, sur les mélanges des différentes terres, et sur ceux de ces dernières avec les oxides métalliques; mais l'état sous lequel se trouvent les substances que l'on a soumises à l'expérience, est rarement celui sur lequel on opère; les oxides de fer, jetés dans le fourneau avec du charbon, s'entremêlent avec le combustible. En s'échauffant, le charbon, en contact avec le minérai, s'empare de son oxigène, et le réduit de manière que, lorsqu'il arrive dans l'ouvrage, où il subit la température propre à fondre le métal et les terres, il est en grande partie désoxidé. C'est donc avec de la fonte de fer presque pure, ou du fer carburé et faiblement oxidé, que les terres se trouvent mélangées ou combinées lorsqu'elles se fondent; ainsi, pour comparer les essais avec les effets des hauts four-

(1) Journal des Mines, tome 18, page 183.

neaux, il faut placer l'oxide de fer et les terres dans une circonstance semblable ou analogue.

Pour avoir des résultats analogues à ceux qui ont lieu dans le haut fourneau, nous avons mêlé avec de l'oxidule de fer, soit des terres pures et seules, soit des terres mélangées deux à deux, trois à trois, etc.; nous avons imbibé d'huile ces mélanges, afin de procurer à l'oxidule de fer le carbone nécessaire pour le réduire; nous avons placé ces mélanges dans des creusets brasqués, et nous les avons recouverts de charbon. Chaque creuset a été couvert ensuite avec un autre creuset, et luté avec de l'argile très-réfractaire. Ces creusets ont été placés dans le fourneau d'essai de l'école de Moutiers, où ils ont éprouvé la température propre à fondre le minérai désoxidé. Nous allons présenter ici le tableau des expériences qui ont été faites, et des résultats qui ont été obtenus.

TABLEAU des Expériences faites sur la fusion des terres avec des oxidules de fer imbibés d'huile.

	N^{os}. SUBSTANCES PLACÉES DANS LE CREUSET.	RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES.
is de le pur.	1. Oxidule de fer de l'île d'Elbe. 5 gram. recouverts de quelques cristaux de quartz.	On a obtenu un culot de fer pesant...3g, 55. Des scories.........................o, 20.
	2. Oxidule de fer plus pur.	On a obtenu un culot de fer pesant...3g, 74. Donc le produit est de 0,748; c'est cette variété que l'on a employée dans tous les essais suivants.
ais ales et erres et sépa- es.	3. Oxidule de fer....4g, 20. Chaux pure......o, 80. 5g.	Ont produit une masse recouverte de gros grains de fer bien réduits, entremêlée de semblables grains. La terre était friable, grenue, de couleur grise. Le tout pesait..........3g, 50.

Essais d'oxidules et de terres pures et séparées.	4. Oxidule de fer....4g, 20. Silice pure.......0, 80. 5g.	Ont produit une masse grisâtre, recouverte et entremêlée de grains de fer, comme la première ; elle était également pulvérulente. Elle pesait 3g, 82
	5. Oxidule de fer....4g, 20. Magnésie pure....0, 80. 5g.	Ont produit une masse noire pulvérulente, recouverte et mélangée de grains de fer, pesant 3g, 55.
	6. Oxidule de fer....4g, 20. Alumine pure.....0, 80. 5g.	Ont produit une masse brune, peu adhérente, recouverte et mélangée de petits grains fins, brillants et lamelleux. Un accident arrivé a fait perdre une partie de la substance. Le culot ne pesait que.........................2g, 24.
Essais de terres mélangées deux à deux.	7. Oxidule de fer....4g, 00. Chaux pure......1, 00. Silice pure.......1, » 6g.	Ont produit une masse noirâtre, peu agglutinée, parsemée et recouverte de petits grains de fer brillants et écailleux. Le tout pesant..4g, 50.
	8. Oxidule de fer....4g, 00. Chaux pure.......1, » Alumine pure.....1, » 6g, »	Ont produit une masse verdâtre opaque, boursouflée, assez adhérente, recouverte et parsemée de grains métalliques. Le tout pesant...4g, 20.
	9. Oxidule de fer....4g, » Chaux pure.......1, » Magnésie pure....1, » 6g, »	Ont produit une masse gris-foncé assez adhérente, irisée dans l'intérieur, recouverte de grains métalliques. Elle pesait...............4g, 50.
	10. Oxidule de fer...4g, » Silice pure.......1, » Alumine pure.....1, » 6g, »	Le creuset ayant fondu la masse obtenue, était altéré ; c'était une scorie noirâtre, recouverte de quelques grains métalliques, pesant 2g, 40.
	11. Oxidule de fer...4g, » Silice pure......1, » Magnésie pure...1, » 6g, »	Ont produit un petit culot de fer enveloppé d'une scorie vitreuse, couverte de petits grains de fer. Le tout pesant.....................4g, 50.
	12. Oxidule de fer...4g, » Alumine pure....1, » Magnésie pure...1, » 6g, »	Ont produit une petite masse grise très-friable, ne laissant rien apercevoir qui eût l'éclat métallique ; une petite partie est restée dans la brasque. Le reste pesait.....................4g, 14.

13. Oxidule de fer...6g, » Chaux pure......1, » Silice pure......1, » Alumine pure....1, » 9g, »	Ont donné un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant..............................4g, 18. Plus, une scorie sphérique ressemblant à de la porcelaine, couverte de quelques grains de fer, pesant..................2, 54. Total.....6g, 72.
14. Oxidule de fer...6g, » Chaux pure......1, » Silice pure......1, » Magnésie pure...1, » 9g, »	Ont produit un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant......................4g, 32. Plus, une scorie noire et vitreuse bien séparée, pesant......................2, 38. Total.....6g, 70.
15. Oxidule de fer...6g, » Chaux pure......1, » Alumine pure....1, » Magnésie pure...1, » 9g, »	Ont donné une masse boursoufflée de fer : on n'a point trouvé de culot réuni. Cette expérience, recommencée, a donné le même résultat. Le premier produit pesait...............6g, 25. Le second pesait......................6, 27.
16. Oxidule de fer...6g, » Silice pure......1, » Alumine pure....1, » Magnésie pure...1, » 9g, »	Ont produit un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant......................4g, 40. Et une scorie vitreuse sphérique, bien séparée, pesant.....................2, 50. Total.. ..6g, 90.
17. Oxidule de fer...8g, » Chaux pure......1, » Silice pure......1, » Alumine pure....1, » Magnésie pure...1, » 12g, »	Ont produit un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant......................5g, 76. Et une scorie vitreuse un peu boursoufflée, pesant........................3, 93. Total.....9g, 69.

Il résulte de ces expériences:

1° Que l'oxidule de fer pur de l'île d'Elbe, dont on a fait usage, se réduit parfaitement lorsqu'il est seul, et qu'il produit 0,748 de fer.

2° Que, lorsque les terres sont pures, et qu'une seule est mélangée avec l'oxidule, celui-ci se réduit et se fond; mais, comme la terre ne se

fond pas, les grains du métal restent interposés entre chaque particule terreuse qui les empêche de se réunir. Il paraît que, dans ces expériences, la magnésie et l'alumine se sont combinées avec un peu d'oxidule, puisqu'elles étaient colorées.

3° Que, lorsque les terres ont été mélangées deux à deux avec l'oxidule de fer, celui-ci s'est réduit et s'est fondu; mais que les terres n'ayant pas été fondues elles-mêmes, leurs particules interposées entre les grains de fer les ont empêchés de se réunir.

En comparant les résultats des différents mélanges terreux, on voit que celui de la silice et de la magnésie a éprouvé une plus forte action de la chaleur que les autres, et que plusieurs grains se sont réunis pour en former de plus gros, que les mélanges n° 7, 8, 9 et 10 ont éprouvé une action plus ou moins grande, et qu'enfin le mélange d'alumine et de magnésie n° 12, est, des six que l'on a essayés, celui qui a le plus fortement résisté à l'action du feu.

4° Que, dans les quatre mélanges des terres trois à trois, celui de la chaux, de l'alumine et de la magnésie était le plus difficile à fondre, qu'il n'a pas même permis aux grains métalliques de se réunir. Que les trois autres ont produit de beaux culots pesant 4g,18; 4g,32; 4g,40; mais comme le minérai doit contenir 0,748 de fer, les 6g auraient dû produire 4,45 de ce métal, d'où il s'ensuit qu'ils ont perdu 0,27, 0,13, 0,05, quantité qui a dû se combiner avec les scories, à raison de 0,090 pour le premier, 0,043 pour le deuxième, et 0,017 pour le troisième. La quantité combinée dans les scories du n° 13 n'est pas tout-à-fait les 0,09, parce qu'elles contenaient quelques grains disséminés à la surface.

5° Que, dans le mélange des terres quatre à quatre, celles-ci se fondent bien, que l'oxide de fer se réduit, se fond et se rassemble bien; qu'à raison de 0,748, les huit grammes de minérais auraient dû produire 5,984, et comme le culot obtenu ne pesait que 5g,760 de fer, 0,224 sont restés combinés dans les scories, ce qui porte la proportion de fer combinée à 0,055.

414. Dans la deuxième partie de cet Art des forges (1), où l'on traite des minérais de fer, on a réuni un grand nombre d'analyses de chaque variété et sous-variété de minérai, afin de faire connaître la nature des substances qui les composent; on voit, en comparant ces analyses, que plusieurs variétés et sous-variétés contiennent de l'oxide de manganèse, particulièrement les fers spathiques, les oxides de fer brun, etc.; que, parmi ces minérais, il en est qui contiennent jusqu'à 0,18 de cet oxide: tel était, par exemple, un échantillon de fer spathique d'Allevard; un échantillon de fer mamelonné de l'Arriège en contenait 0,16, l'oxide de fer compacte de la voûte en contenait 0,12, etc. Puisque, d'après les expériences de Lampadius, les oxides métalliques ont une si grande influence sur la fusion des terres, il devait être intéressant, pour le travail du fer, de déterminer quel effet l'oxide de manganèse devait produire dans la fusion des terres; nous avons, en conséquence, entrepris quelques expériences dont nous allons rapporter les résultats dans un tableau.

Ces expériences ont été faites de la même manière que celles des terres; on a mêlé ensemble de l'oxide de fer, de l'oxide de manganèse et des terres pures; les mélanges ont été imbibés d'huile et placés dans un creuset brasqué; ils ont ensuite été couverts de charbon, et le creuset a été lui-même recouvert d'un autre creuset luté avec une argile très-réfractaire.

Comme on avait reconnu, par les expériences précédentes, que les terres mélangées trois à trois pouvaient se fondre et permettre au culot de fer de se former, on s'est contenté de déterminer l'influence de l'oxide de manganèse sur les terres séparées et sur les terres mélangées deux à deux, qui n'avaient pas pu être fondues avec l'oxidule de fer seul.

---

(1) 1[er] volume, pages 90 et suivantes.

TABLEAU des Essais sur la fusion des terres mélangées avec de l'oxidule de fer et de l'oxide de manganèse.

TERRES MÉLANGÉES.	Nos. SUBSTANCES PLACÉES DANS LE CREUSET.	RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES.
Une à une.	18. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan. 1, » Chaux pure......1, » 6g, »	Ont produit un culot de fer assez gros, ainsi qu'une masse verdâtre, friable, mélangée de plusieurs petits grains de fer. Le tout pesant....3g, 90.
	19. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Silice pure.......1, » 6g, »	Ont produit un culot de fer enveloppé d'une scorie grise, olivâtre, dure. Le culot pesait..2g, 99. La scorie..........................1, 70. Total.....4g, 69.
	20. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Magnésie pure....1, » 6g, »	Ont produit une masse gris-noirâtre, remplie de grains de fer plus ou moins gros. Le tout pesant..............................4g, 30.
	21. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Alumine pure....1, » 6g, »	Ont produit une masse friable d'un gris olivâtre, parsemée de grains de fer, dont deux un peu gros. Le tout pesant................4g, 30.
Deux à deux.	22. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Chaux pure......1, » Alumine pure....1, » 7g, »	Ont produit un culot bien formé et quelques grains, lesquels, réunis, pesaient...........2g, 90. Plus, une scorie dure, boursoufflée, olivâtre, pesant......................2, 80. Total.....5g, 70.
	23. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Silice pure.......1, » Magnésie pure....1, » 7g, »	Ont produit un culot bien formé et bien rassemblé. Il pesait..........................2g, 88. Il était environné de scories olivâtres, dures et compactes, sans être vitreuses, pesant..............................2, 54. Total.....5g 42.

	24. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Silice pure.......1, » Chaux pure......1, » 7g, »	Ont produit un culot bien formé et bien rassemblé, qui s'est détaché sans choc, et pesait..3g, 07. La scorie détachée était vitreuse, transparente, couleur orange, avec des taches olivâtres. Elle pesait........2, 42. Total.....5g, 49.
leux.	25. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Chaux pure......1, » Magnésie pure....1, » 7g, »	Ont produit une masse terreuse, gris-olivâtre, peu cohérente, parsemée de grains de fer de différentes grosseurs; quelques-uns étaient un peu gros. Le tout pesait............5g, 51.
	26. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Silice pure.......1, » Alumine pure....1, » 7g, »	Ont produit un culot bien formé et bien rassemblé, pesant...........................2g, 65. Il était environné d'une scorie vitreuse, vert-olive, recouverte d'une pellicule noire, parsemée de globules, et pesant.2, 31. Total.....4g, 96.
	27. Oxidule de fer....4g, » Oxide de mangan..1, » Alumine pure....1, » Magnésie pure....1, » 7g, »	Ont produit une masse noire, adhérente et parsemée de quelques grains de fer, dont un assez gros. Le tout pesaut................5g, 15.

Il résulte de ces essais :

1° Que la silice a beaucoup plus d'affinité avec l'oxide de manganèse que les autres terres, puisque, dans l'expérience n° 19, cet oxide l'a fait fondre, et que le culot de fer a pu en être séparé, tandis que la chaux, l'alumine et la magnésie, dans les expériences 18, 20 et 21, n'ont pas fondu, et que le culot de fer n'a pu se former ni se séparer.

2° Que partout où la silice et l'oxide de manganèse se sont trouvés mélangés avec une autre terre, ils ont fait fondre cette dernière, ainsi que le prouvent les expériences 23, 24 et 26; et que le mélange de chaux pure, d'alumine pure et d'oxide de manganèse n° 22, a également fondu, tandis que ceux de chaux et de magnésie, d'alumine et

de magnésie avec l'oxide de manganèse, n°s 25 et 27, ne sont pas entrés en fusion, et n'ont pas permis au culot de se séparer. Il paraîtrait encore que le mélange d'alumine et de magnésie, n° 27, était plus fusible avec l'oxide de manganèse que celui de chaux et de magnésie, n° 25, puisque le premier a produit une masse plus cohérente, et a laissé rassembler des grains de fer plus gros; d'où il semblerait enfin que la magnésie serait de toutes les terres celle qui serait la moins fusible avec l'oxide de manganèse, résultats qui s'accordent avec tous ceux que l'on a recueillis jusqu'à présent sur la difficile fusion de cette terre.

3° Que, dans la fusion de l'oxide de fer, de l'oxide de manganèse et de terres, l'oxide de manganèse se combine de préférence avec ces dernières, et que très-peu de ce métal reste combiné avec le fer, car l'espèce d'oxide de fer que l'on a employée dans tous ces mélanges rendait, d'après un essai particulier, 0,728 de métal, et un peu de scories; d'où il suit que les 4^{g} mélangés dans les dix dernières expériences, auraient dû produire 2^{g} 91 de fer. Or, dans l'expérience n° 19, dans laquelle le mélange ne contenait que de l'oxidule de fer, de l'oxide de manganèse et de la silice, le culot obtenu pesait 299, en supposant que les scories n'eussent point entraîné de fer; la quantité de manganèse retenue ne serait que de 0,08, donc de 0,027 de la quantité de fer. Les scories et le culot de fer ayant été analysés, on a trouvé très-peu de manganèse dans le fer, et très-peu de fer dans les scories.

Dans les autres expériences il paraît être resté encore moins de manganèse dans le fer, puisque dans celle n° 22, le bouton ne pesait que 2,90, donc, 0,01 de moins que la quantité de fer qu'il devait contenir; le n° 23 pesait 2,88, donc, 0,03 de moins; le n° 26 pesait 2,65, donc, 0,26 de moins; mais dans celui-ci il était resté un peu de fer dans les scories. Le culot du n° 24 pesait 3,07, donc, 0,16 de plus que le poids qu'il aurait dû avoir, mais le culot était sale, et retenait un peu de scories.

On ne peut nier que les scories n'aient entraîné un peu de fer, et que cette quantité n'ait diminué celle que le culot aurait dû produire: en supposant que la quantité entraînée fût de 0,05, qui est une quan-

tité moyenne déduite de plusieurs expériences, on voit que la proportion de manganèse, combinée avec le fer, serait très-petite; mais tout fait croire, d'après l'analyse qui a été faite de quelques laitiers et de quelques culots de fer, que la quantité de manganèse entraînée par le fer est beaucoup moins considérable encore, et qu'elle ne passe pas ordinairement 0,02 de ce dernier métal.

L'ingénieur Leboullanger a entrepris, à notre sollicitation, l'analyse des culots de fer, fondus avec de l'oxide de manganèse et des terres; il n'y a trouvé qu'une quantité de manganèse très-peu sensible.

415. De toutes les expériences rapportées jusqu'à présent, il résulte que, lorsque le minérai ne contient pas d'oxide de manganèse,

1° Si les terres des gangues mélangées avec l'oxide ou l'oxidule de fer, ou les terres combinées dans le minérai, sont seules, quelle que soit la nature de la terre, elle ne fondra pas, elle empêchera la séparation du fer réduit et fondu, et elle contribuera, par son infusibilité, à laisser oxider le métal, en passant devant la tuyère;

2° Si les terres sont mélangées deux à deux, elles sont également infusibles dans toutes proportions; cependant elles présentent une sorte de tendance à la fusion, et tout porte à croire qu'il y a quelques combinaisons de silice et de chaux, mélangées d'un peu d'oxide de fer, qui peuvent entrer en fusion, faciliter la séparation du fer et l'empêcher de s'oxider en tombant dans le creuset;

3° Qu'un grand nombre de combinaisons ternaires, des quatre terres, sont fusibles, excepté celle de la chaux, de l'alumine et de la magnésie, si ce n'est lorsque la chaux ou l'alumine sont dans une telle proportion que l'une ou l'autre de ces terres prédomine, et forme à elle seule une masse égale à la somme des deux autres, et que, dans les autres combinaisons où il entre de la magnésie, il faut éviter que la proportion de celle-ci soit trop considérable;

4° Enfin, que le mélange des quatre terres est presque toujours fusible, si ce n'est dans un très-petit nombre de cas qui a été prévu par les expériences d'Achard.

D'où l'on voit que, quelle que soit la composition des pierres de la

gangue, ou celle des terres combinées dans le minérai, on peut toujours rendre ces terres fusibles en y en ajoutant deux autres : 1° de l'argile composée de silice et d'alumine; de la serpentine ou de la stéatite, composée de silice et de magnésie, si la terre mélangée ou combinée est de la chaux; 2° de la marne, composée de chaux et d'alumine, si la gangue ou la terre mélangée est de la silice; 3° de l'argile, si la terre mélangée ou combinée est de la silice; 4° de la stéatite ou de la serpentine, si la terre mélangée est de l'alumine.

Mais comme il arrive rarement que les terres mélangées ou combinées avec l'oxide de fer soient seules; on peut toujours compléter la proportion nécessaire à la fusion, en y ajoutant : 1° de la silice seule, si les terres mélangées sont : chaux et alumine, chaux et magnésie, magnésie et alumine; 2° de la chaux, si les terres mélangées sont : silice et alumine, silice et magnésie; 3° de la marne, si la silice ou la magnésie prédomine; 4° de l'argile, si la chaux ou la magnésie prédomine; enfin, il est aisé d'apercevoir qu'il doit exister un grand nombre de terres, seules ou mélangées, et de pierres, composées de plusieurs terres, qui doivent favoriser la fusion.

416. Plusieurs métallurgistes divisent les minérais de fer en quatre classes, relativement à la terre dominante; ils les nomment *mine siliceuse*, *mine calcaire*, *mine alumineuse*, *mine magnésienne*. Cette dénomination, qui semble propre à faire connaître la nature des fondants à ajouter au minérai, peut être tolérée lorsque les terres dominantes sont bien décidément celles dont ils portent le nom, et que ce sont celles qu'il faut corriger; cependant il vaut mieux adopter les divisions et les dénominations qui ont été indiquées dans la IIe partie de cet ouvrage.

Jusqu'à présent, les maîtres de forge se sont contentés d'ajouter à leurs minérais, pour les faire fondre, 1° de la chaux ou de la marne, sous le nom de *castine;* 2° de l'argile, sous le nom d'*herbus;* mais ces substances, bonnes et utiles dans le plus grand nombre de cas, ne sont pas les seules que l'on puisse employer, comme il est facile de le conclure du grand nombre d'expériences que l'on vient de rapporter, relativement à la fusibilité des terres; et déja cette vérité avait été aperçue

dans quelques pays. Dans le val d'Aost, par exemple, on mêle avec l'oxidule de fer que l'on y traite, un sable qui contient de la silice, de la magnésie et quelques autres terres; en Suède, dans quelques circonstances, on ajoute comme fondants aux minérais que l'on y traite, des micas, des hornblendes, des actinotes, des grenats, des basaltes (1), cependant la chaux est la substance que l'on ajoute de préférence dans le plus grand nombre de cas.

L'habitude où l'on est d'employer la chaux ou l'argile, comme fondants des minérais de fer, et en particulier la chaux, fait que l'on est obligé quelquefois d'aller chercher fort loin, et à grands frais, le fondant que l'on veut employer, tandis que, le plus souvent, on a à sa proximité des substances beaucoup plus avantageuses, et que l'on néglige, parce que l'on ignore qu'elles peuvent être employées avec succès.

Osons le dire, la chaux, si utile à la fusion de quelques minérais, est beaucoup trop souvent employée; il est un grand nombre de circonstances dans lesquelles, loin de la favoriser, elle la retarde, et elle nuit même au travail; il faut, avant d'en faire usage comme fondant, que l'on se soit bien assuré qu'elle est réellement utile.

Espérons que les maîtres de forge, mieux instruits sur la nature des combinaisons terreuses propres à faciliter la fusion réciproque des terres dans les minérais, essaieront des substances différentes de celles qu'ils emploient, et qu'ils arriveront, soit par une suite de tâtonnements, soit par des analyses ou des essais par la voie sèche, à déterminer directement quels fondants ils doivent employer pour obtenir leur fonte de fer avec le plus d'économie possible.

La question relative aux fondants n'est pas aussi indifférente qu'elle peut le paraître à plusieurs métallurgistes; car souvent il résulte, de la nature et de la proportion de ceux que l'on emploie, des différences considérables dans les quantités de charbon consumées, dans le poids et dans la qualité des fontes obtenues.

Lorsque les minérais contiennent du manganèse, le fondant le plus

(1) Garney, deuxième partie, chapitre 3, §. 2.

avantageux est la silice, lorsque la gangue ou le minérai n'en contient pas déja une très-grande quantité; si la silice était en proportion trop considérable, on pourrait y ajouter de la chaux.

Au reste; il est difficile de prescrire d'avance la nature et la proportion des fondants que l'on doit employer, parce qu'ils dépendent : 1° de la nature des terres déja mélangées ou combinées; 2° de leur quantité; 3° de la nature des terres et des pierres que l'on a à sa proximité, et qui peuvent être employées comme fondants.

Lorsqu'il y a à la proximité d'un fourneau plusieurs variétés de minérais, dans lesquels la nature et la proportion des terres qui composent leurs gangues, ou qui sont combinées avec l'oxide de fer, diffèrent les unes des autres, il devient utile et avantageux même (comme on l'a déja dit) de mélanger les minérais; si toutefois on peut, par ce mélange, obtenir une composition de terres favorable à la fusion, et dans une proportion telle que le volume des scories soit environ trois à cinq fois celui du fer : on utilise, par ce moyen, des minérais que souvent on aurait été obligé d'abandonner, parce qu'ils n'auraient pu être traités séparément qu'avec perte : il faut, lorsque l'on veut mélanger des minérais, s'assurer d'avance s'ils donnent du fer d'une bonne qualité; car on doit éviter avec soin, dans ces mélanges, d'employer des fondants qui puissent rendre le fer aigre, brisant ou cassant.

Il résulte un second avantage du mélange des minérais : c'est que, très-souvent, des espèces ou des variétés, qui auraient donné séparément des fontes défectueuses (en ce que les uns auraient produit des fers brisants à chaud, et les autres des fers cassants à froid), servent de correctifs les uns aux autres, et que, lorsqu'ils sont mélangés dans une bonne proportion, la fonte que l'on en obtient produit des fers de bonne qualité. Nous reviendrons sur cette question que nous dévélopperons, et que nous discuterons, en traitant des différents moyens de corriger les vices et les défauts de plusieurs fers.

Les maîtres de forge sont, depuis long-temps, tellement convaincus de l'avantage des mélanges des minérais, que souvent ils envoient chercher très-loin et à grands frais, des variétés qui puissent favoriser le travail de celles qu'ils ont à leur proximité. C'est un défaut consacré par

l'usage. Il n'est pas nécessaire, dans beaucoup de circonstances, pour faciliter le traitement d'un minérai, de lui en ajouter d'autres : si l'on peut obtenir le même résultat, et d'une manière plus économique, avec des terres ou des pierres que l'on a à sa proximité, il faut, dans ce cas, les préférer.

417. Toutes les expériences qui ont été entreprises sur la fusibilité des terres, et dont on a rapporté le résultat, avaient pour objet de déterminer la nature et les proportions de celles qui sont le plus favorables à la fusion; mais il ne suffit pas toujours, en traitant un minérai, d'avoir obtenu un mélange de terres fusibles, il faut encore que cette fusibilité soit amenée à un degré tel qu'il soit propre à favoriser la quantité et la qualité de la fonte que l'on obtient.

Lorsque les laitiers, quoique fondus, sont trop pâteux, trop tenaces, ils forment, en recouvrant le bain, un massif si résistant, que la fonte qui coule par petites portions ne peut la pénétrer; les grosses gouttes parviennent bien à rompre la ténacité, à détruire sa résistance et à s'ouvrir un passage; mais les gouttes les plus petites restent sur le laitier, elles sont entremêlées avec lui, et celui-ci, en sortant par la tympe, entraîne des globules de fonte plus ou moins gros, que l'on ne peut séparer qu'à l'aide d'un bocard ou d'un gros marteau; ces sortes de laitiers sont vicieux, en ce qu'ils diminuent la quantité de fonte que l'on devrait obtenir, et qu'ils en retiennent une grande partie.

Les laitiers secs, pâteux, tenaces, ont un second désavantage plus dangereux encore, en ce qu'ils s'attachent aux parois du fourneau, et qu'ils finissent, en s'accumulant, par l'engorger.

Lorsque le mélange terreux est très-fusible, souvent il fond avant que le métal soit intérieurement désoxidé, et il dissout de l'oxide de fer en plus ou moins grande proportion; souvent encore, il se sépare du métal fondu, et s'écoule séparément, de manière que les globules de fonte, en passant devant la tuyère, présentent leurs surfaces nues à l'action du vent qui les oxide, et les brûle; alors ils tombent à travers la masse des scories liquides, après avoir été oxidés en partie. Le laitier liquide que la fonte traverse, dissout, dans son passage, une proportion plus ou moins grande de fer oxidé, et le reste, en tom-

bant dans le bain, contribue à décarbonner la fonte et à la blanchir.

Un second inconvénient des laitiers trop liquides, c'est que, parmi ceux qui s'écoulent à travers les charbons, une grande partie tombent sur les étalages. Ils exercent leur action fondante sur la matière terreuse dont ils sont formés et les corrode : en coulant ensuite sur les faces de l'ouvrage, ils corrodent encore celles-ci. Le laitier qui recouvre la fonte et qui remplit le creuset, y exerce également son action fondante; il ronge, corrode les terres dont il est formé, et il en agrandit l'espace; enfin, par suite de cette action fondante et corrodante des laitiers trop fusibles, le fourneau est bientôt déformé, il cesse de fondre avec avantage, avec bénéfice, et l'on est obligé d'arrêter le travail et de mettre promptement *hors*.

Le laitier, pour être d'une bonne qualité, doit avoir une fusibilité telle qu'il ne commence à fondre que lorsque le minérai est entièrement désoxidé, ou très-avancé dans la désoxidation, et qu'il est même carbonisé au degré qu'il lui convient; il faut, de plus que, lorsqu'il est fondu, il conserve une telle viscosité, qu'il reste toujours adhérent, et qu'il enveloppe le morceau de minérai dans lequel la matière terreuse était mélangée ou combinée; il faut encore, lorsque le métal est fondu et que les morceaux se divisent entre les charbons, qu'il reste sur chaque goutte de métal une assez grande quantité de laitier pour recouvrir toute sa surface et la préserver de l'action oxidante de l'air, lorsque les globules passent devant la tuyère; il faut, enfin, que cette viscosité soit telle, que les globules métalliques puissent rompre l'adhésion du laitier, et passer à travers la couche qui recouvre le bain de fonte, pour se réunir à la masse de métal qui s'est déja rassemblée au fond du creuset.

418. Pour avoir le degré de fusion et de viscosité le plus favorable au traitement des minérais de fer, il est nécessaire que le mélange terreux soit dans une proportion qu'il serait difficile de déduire des essais qui ont été rapportés jusqu'à présent; mais, afin de présenter quelques données sur les proportions des terres, nous allons faire connaître les résultats de l'analyse de plusieurs laitiers faits dans le dessein d'avoir des connaissances exactes sur leur composition : il serait à desirer que

ces analyses fussent continuées, et que l'on pût connaître la composition de chaque laitier sous les trois états où le fourneau doit être observé : 1° ne chauffant pas assez ; 2° chauffant bien ; 3° chauffant trop.

TABLEAU des Analyses de vingt variétés de Scories.

NOMS.	ÉTAT.	OXIDE DE FER.	OXIDE DE mangan.	SILICE.	CHAUX.	ALUMINE.	MAGNÉSIE.	OU LES ANALYSES ont été faites.
	Mal	0,036.	0,85..	0,71..	0,072.	0,025.	0,032.	
	Idem	0,047.	0,058.	0,71..	0,06..	......	......	
Sainte-Hélène.	Moyennement	0,04..	0,124.	0,60..	0,10..	0,03..	0,03..	
Le fourneau allant..	*Idem*	0,047.	0,106.	0,56..	0,18..	......	......	
	Bien	0,072.	0,072.	0,53..	0,15..	......	0,08..	Ecole-pratique de Moutiers.
	Idem	0,005.	0,125.	0,556.	0,17..	......	......	
	Brune	0,10..	0,134.	0,545.	0,075.	0,046.	0,063.	
Allevard.	Verte	0,26..	0,070.	0,458.	0,098.	0,030.	0,040.	
Couleurs des scories.	Noire	0,208.	0,114.	0,494.	0,098.	0,042.	0,024.	
	Verte	0,20..	0,10..	0,46..	0,106.	0,066.	0,066.	
	Diverses	0,05..	0,095.	0,56..	0,130.	0,065.	0,090.	Registre du Conseil des Mines.
Gaiser-Lautern....	....	0,03..	trace.	0,49..	0,30..	0,15..	trace.	
Allevard..........	Noyau bleu	......	......	0,918.	......	0,043.	0,03..	
	Compacte	0,04..	0,20..	0,54..	0,125.	0,05..	0,15..	
Carinthie.........	Bien) compacte	0,05..	0,11..	0,50..	0,210.	0,04..	0,08..	Registre du Conseil des Mines.
	Grise	0,04..	0,18..	0,53..	0,130.	0,04..	0,09..	
	Spongieuse	0,09..	0,07..	0,64..	0,050.	0,08..	0,09..	
Forges de Breteuil..	Bleu d'émail	0,154.	......	0,522.	0,223.	0,096.	0,010.	
	Verre noir	0,074.	......	0,471.	0,230.	0,114.	trace.	Ecole-pratique de Moutiers.
Idem, Val-d'Aost..	Email gris	0,070.	......	0,594.	0,110.	0,170.	0,130.	
Creuzot, près Mont-Cenis.	Bien	0,03..	......	0,496.	0,300.	0,150.	......	Jo. des Mines, t. 22, p. 449.
Le fourneau allant..	Mal	0,03..	trace.	0,395.	0,356.	0,18..	......	
	Bien	0,093.	0,115.	0,530.	0,150.	0,010.	0,080.	
Sainte-Hélène.	Bien	0,040.	0,198.	0,600.	0,100.	0,030.	0,030.	
Le fourneau allant..	Mal	0,047.	0,080.	0,710.	0,072.	0,025.	0,032.	Jo. des Mines, t. 23, p. 179 et 180.
	....	0,185.	0,100.	0,460.	0,106.	0,066.	0,066.	
Allevard..........	....	0,093.	0,135.	0,540.	0,080.	0,045.	0,065.	
	....	0,047.	0,090.	0,560.	0,130.	0,065.	0,093.	
Bruniquel, département du Tarn....	....	0,050.	0,007.	0,390.	0,196.	0,260.	0,090.	Jo. des Mines, t. 28, p. 114.

Les laitiers contiennent quelquefois d'autres substances : ainsi il existe un peu de phosphure de fer dans le laitier bleu d'émail des forges de Breteuil. Vauquelin a trouvé du phosphate et du chromate de fer dans les laitiers des forges de Pesmes, en Franche-Comté (1); mais ces substances sont en si petite quantité, qu'elles doivent peu influer sur la fusibilité des scories.

En comparant ces analyses, on observe :

1° Que la silice domine dans toutes les scories, et qu'elle varie de 0,71 à 0,46.

2° Que, dans les mines manganésifères, il n'est pas d'une nécessité absolue que les autres terres soient dans une grande proportion avec la silice, puisqu'une scorie de Sainte-Hélène, où l'on fond des fers spathiques, ne contenait, en terre, que 0,71 de silice, et 0,06 de chaux; cependant il est bon que la proportion des autres terres soit un peu plus considérable.

3° Que, dans les minérais qui ne contiennent pas de manganèse, il faut que les deux autres terres soient dans une plus grande proportion.

4° Que, lorsque le fourneau va bien, que le minérai est bien désoxidé, la proportion de fer, entraînée dans les scories, est de 0,03 à 0,07 ; qu'ainsi le fourneau d'Allevard, dont les scories retiennent jusqu'à 0,26 de fer, va mal, parce que, très-probablement, le minérai n'est pas assez désoxidé lorsqu'il entre en fusion, ou qu'il n'y a pas assez de scories pour empêcher que le métal ne s'oxide en passant devant la tuyère.

5° Que l'oxide de manganèse, contenu dans le minérai, est enlevé en grande partie par les scories, lorsque le fourneau va bien; ce qui est conforme aux essais en petit qui ont été faits en fondant de l'oxide de manganèse avec de l'oxidule de fer mélangé de différentes terres. Au reste, cette question sera traitée avec beaucoup de détails, lorsqu'on examinera l'influence du manganèse dans le travail de l'acier.

---

(1) Journal des Mines, n° 119, page 386.

DE LA FUSION DES MINÉRAIS DE FER.

419. Le travail d'un haut fourneau exige, dans chaque pays, une quantité d'ouvriers plus ou moins grande; mais ils doivent toujours être cinq au moins; savoir :

Un maître fondeur, ou garde-fourneau,
Deux aides fondeurs,
Deux chargeurs.

Les trois premiers ouvriers restent dans le bas du fourneau, surveillent la fusion, les machines soufflantes et tout le travail de la fonte et des laitiers. Les deux autres restent dans le haut, et ne sont occupés que du transport et de la charge des matières.

Le rédacteur de l'article *fer,* dans l'Encyclopédie par ordre de matières, prétend qu'un fourneau peut être conduit par trois ouvriers : un fondeur et deux chargeurs (1). Cependant, comme il faut nécessairement que, durant tout le fondage, il y ait constamment un ouvrier, au moins, dans le bas du fourneau, il serait difficile qu'un seul fondeur pût y résister.

Dans quelques fonderies, on a trois ouvriers pour le chargement du fourneau, et un quatrième pour trier, cribler le charbon, emplir les paniers, etc.; ce qui porte à sept le nombre des ouvriers employés au travail d'un haut fourneau.

Pour établir plus d'ordre, et décrire ce travail avec plus de précision, nous diviserons cet article en cinq sections : 1° de la préparation du fourneau; 2° de sa mise en feu; 3° du travail qu'il exige; 4° de l'indice de la marche du fourneau et des corrections que l'on peut y apporter; 5° des accidents, des repos et de la mise hors.

DE LA PRÉPARATION DU FOURNEAU.

420. Lorsque le fourneau est construit ou réparé, et qu'il doit être

(1) Arts et Métiers, tome 2, partie 2, page 550.

mis en feu, il faut, avant tout, faire provision de charbon, de minérais et de fondants; disposer tous les instruments nécessaires au travail, placer la tuyère et déterminer les mélanges des minérais et des fondants les plus avantageux et les plus économiques.

Il n'est pas toujours nécessaire, lorsque le fondage doit durer plusieurs trimestres, d'avoir en magasin tout le charbon qui doit y être employé, parce que ce combustible pourrait se détériorer et produire moins de chaleur; ce qui occasionnerait une plus grande consommation de charbon, souvent même en ne produisant qu'une fonte de mauvaise qualité. Ces effets ont principalement lieu lorsque les magasins sont humides, mal fermés et mal couverts : mais on doit toujours avoir une quantité suffisante de bois exploité, un nombre de charbonnieres assez considérable et des moyens de transport assurés, pour qu'il y ait toujours, dans les magasins, du charbon en avance, au moins pour deux mois.

Quant au minérai tout préparé, il est avantageux que l'approvisionnement soit fait d'avance, qu'il soit en tas et à la proximité du fourneau, dans un lieu où il puisse être exposé à l'action de l'air et des météores aqueux. L'expérience prouve tous les jours que, par le moyen de cette exposition, les minérais s'améliorent. Si l'action de l'air et de l'eau, en se continuant trop long-temps, faisait éprouver à quelques variétés une décomposition qui pût leur être préjudiciable, il faudrait les mettre dans des magasins fermés où elles pussent être à l'abri de leur action.

421. Les instruments nécessaires au travail du fourneau sont de deux sortes : les uns servent, dans le haut du fourneau, au chargement du charbon, du minérai et des fondants; les autres, dans le bas, au travail de l'intérieur et à la coulée de la fonte.

422. Le charbon, le minérai et les fondants doivent être transportés sur la plate-forme du fourneau, afin de pouvoir être à la proximité du gueulard, et y être versés avec plus de commodité.

On peut former des tas considérables de minérais et de fondants; les chargeurs peuvent profiter de leurs moments de liberté pour les y

transporter, en évitant toutefois de trop surcharger la plate-forme. Les charbons, au contraire, ne doivent y être déposés qu'en très-petite quantité, parce qu'étant très-rapprochés du feu, ils pourraient s'embraser facilement. Aussi ne transporte-t-on ordinairement sur la plate-forme que la quantité de charbon qu'une charge exige; et, lorsqu'elle est versée dans le gueulard, on en va chercher une autre, que l'on prépare, pour être chargée à son tour aussitôt que la première est descendue.

423. Le fourneau, quoique élevé au-dessus du sol, peut être placé à la proximité d'autres élévations, et avoir un chemin droit, ou un peu incliné, qui conduise sur la plate-forme. Lorsque les fourneaux sont isolés, qu'ils sont construits dans une plaine, on établit, avec des madriers, un plan incliné qui sert de chemin ou d'escalier, pour parvenir à la plate-forme. C'est ordinairement sur ce chemin, et à l'aide de brouettes de bois ou de fer, sur lesquelles on place les corbeilles pleines de charbon, que l'on monte ce combustible.

424. En Allemagne, en Styrie, en Suède, et dans plusieurs autres pays, on a de grands paniers d'osier, ou des caisses faites avec des planches, que l'on place sur deux roues ou que l'on fixe sur des civières; lorsque ces paniers ou ces caisses sont remplis de charbon, et qu'ils sont posés sur deux roues, un seul homme peut les traîner, tandis qu'il faut deux hommes au moins pour exécuter le même travail, lorsqu'il faut les porter sur des civières.

Dans plusieurs circonstances, le minérai et les fondants sont charriés, par des chemins inclinés, sur une brouette en forme de caisse A, B, C, D, E, F, G, (planche 32) et dans laquelle on met ces substances. Dans plusieurs endroits, les minérais déposés dans le bas du fourneau, sont placés dans un seau que l'on fait monter sur la plate-forme, à l'aide d'une corde attachée à une poulie. Au Hartz (1), on les monte en roulant l'extrémité de la corde sur un treuil; dans les forges de Soderfors, en Roslagie, le minérai, après avoir été bocardé, est

(1) Voyage métallurgique de Jars et Duhamel, tome 1er, page 89.

élevé par l'arbre qui fait mouvoir le marteau à piler les scories (1); dans quelques endroits, c'est l'homme même qui charge le minérai et qui l'élève par son propre poids. Lorsqu'un baquet est chargé, l'ouvrier monte sur la plate-forme, se met dans le second baquet qui a déja été monté, et qu'il a vidé; alors, par son propre poids, qui est un peu plus fort que celui du minérai, il l'enlève, et le baquet se décharge de lui-même en arrivant; il recharge de nouveau le baquet qui est descendu, et il l'élève, de la même manière, en montant sur la plate-forme.

On donne le nom de *rasse, van, corbeille,* G, H, I, K, au panier qui sert à transporter la charge de charbon. Sa forme est ordinairement semblable à celle du van dont on se sert pour vaner le grain. Il est construit avec des brins d'osier ou des lames de bois de chêne. La rasse a des dimensions qui varient dans chaque endroit : dans quelques-uns, elle contient 3 pieds cubes; dans d'autres, 6 à 7. La mesure de Suède, appelée *kocq,* contient environ 13 pieds cubes; le *korb* de *Wolfsberg,* en Carinthie, contient 16 pieds cubes environ.

On charge le minérai et la castine dans des mesures de bois L, M, qui ont des formes différentes. Les unes L, sont des portions de madriers que l'on creuse, et dont la surface concave ressemble à un segment d'ellipsoïde : on leur donne le nom de *conche;* elles peuvent contenir de 30 à 50 livres de minérai. En Suède, elles sont de bois ou de fer battu N; elles ont la forme d'un van; on les appelle *tourq* ou *fat,* elles contiennent de 40 a 50 livres de minérai. A Wolfsberg, en Carinthie, ce sont des caisses carrées M, du volume d'un pied et demi cube; elles contiennent 120 livres de minérai grillé, et à Treyback, 180 livres.

A mesure que le charbon brûle, la charge descend; elle forme un vide dans le gueulard, et lorsque l'espace est assez considérable pour contenir une nouvelle charge, on le remplit avec du charbon et du minérai. Pour connaître la grandeur de l'espace vide, le chargeur a

(1) Voyage métallurgique de Jars et Duhamel, tome 1.er, page 129.

une barre de fer coudée O, à laquelle on donne le nom de *bécasse;* il détermine avec cette jauge, qu'il plonge de temps en temps dans le gueulard, le moment où la charge est assez descendue.

En jetant le combustible dans le fourneau, on arrange le charbon, on l'égalise, on le comprime pour remplir les espaces vides qui peuvent s'être formés, et cela afin que la charge descende uniformément. L'instrument avec lequel on exécute cet arrangement, cette compression, est en bois; on le nomme *masse* P.

Pour ramasser le charbon dans les magasins, les chargeurs ont un *rable* Q, ou un *rateau* R, à longues dents de bois ou de fer; ce rateau sert à trier le charbon; le poussier et le fraisil passent à travers les dents, de manière que l'on ne charge, dans les vans ou dans les autres mesures, que les gros charbons.

425. Les fondeurs et aides-fondeurs qui sont dans le bas du fourneau, ont, pour leurs travaux, 1° de gros léviers de fer S, T, connus sous le nom de *ringards:* ces instruments ont depuis 4 jusqu'à 10 pieds de long, ils pèsent de 15 à 60 livres; ils ont, de plus, une barre crenelée U, que l'on place devant le fourneau pour supporter les ringards; 2° des crochets V, X, Y, pour retirer les scories et les matières infusibles qui s'attachent aux parois; 3° une spatule de fer, que l'on nomme *torchette* dans quelques endroits, qui sert à réparer l'ouverture de la tuyère, et une autre barre Z, qui sert à boucher le trou de la coulée; 4° une pioche triangulaire A, C, (planche 33) à laquelle on donne le nom de *charrue;* des bêches B, et quelques pelles D, pour creuser dans le sable et arranger le moule dans lequel on doit couler la fonte; 5° des verges de fer coudées, dont le bout est droit G, ou circulaire F, pour former le numéro de la gueuse; 6° des rouleaux H, et des léviers I, K, L, M, pour transporter la gueuse, et, dans quelques endroits, un chariot N, pour transporter les saumons; 7° une romaine O, pour peser la fonte, et des crochets de fer P, pour la suspendre.

426. Une opération que les fondeurs regardent comme une des plus essentielles à la marche et à la conduite d'un haut fourneau, c'est le placement de la tuyère.

On appelle *tuyère* Q, R, S, T, l'instrument par lequel l'air est introduit dans les hauts fourneaux. Sa forme est ordinairement semblable à celle d'un demi-cône tronqué Q. On nomme *pavillon a,* la base de ce demi-cône, qui est elle-même un demi-cercle, et œil ou *bouche b,* la tronquature du cône, c'est-à-dire, l'ouverture par laquelle l'air entre dans le fourneau.

Ce demi-cône a différentes dimensions selon les fourneaux auxquels il est appliqué. Sa longueur varie entre 8 et 18 pouces; le diamètre du pavillon entre 8 et 15 pouces, sa hauteur entre 4 et 8 pouces, le diamètre de l'œil ou de la *bouche* entre 18 et 40 lignes, et sa hauteur entre 10 et 24 lignes. Cette partie est le plus souvent taillée en langue de carpe.

La forme conique, très-obtuse, que l'on donne aux tuyères, est nécessaire, lorsque l'air est lancé par deux soufflets, dont les buses sont placées dans la tuyère; mais lorsque les machines soufflantes n'ont qu'une seule buse, les tuyères n'ayant plus besoin d'une aussi grande largeur, on peut leur donner une autre forme. O'Relly (1) conseille de leur donner celle d'un tube conique R, dont les deux diamètres (celui du pavillon *a,* et celui de la bouche *b*) aient très-peu de différence. Il pense que, pour une tuyère de 12 pouces de long, les deux diamètres du pavillon et de la bouche doivent avoir, le premier, 5 pouces, le second, 3; mais il fait terminer la bouche de trois manières différentes, relativement à la forme que doit avoir le jet d'air lancé dans le fourneau; s'il doit être cylindrique, il prolonge la bouche de la tuyère par un cylindre S, de plusieurs pouces de long, et dont le diamètre est celui de la tronquature du cône; si le jet doit avoir une faible convergence, sa bouche R n'éprouve point de variation; mais si elle doit converger et diverger ensuite dans le creuset, on rétrécit la bouche de la tuyère, et l'on en forme un nouveau cône tronqué T, placé sur le premier, et dont l'angle au sommet est beaucoup plus grand.

Ces différentes constructions sont fondées sur le besoin que l'on a de faire brûler plus ou moins d'oxigène à la sortie de la tuyère, c'est-

(1) Annales des Arts et Manufactures, tome 4, pages 244 et suivantes.

à-dire, lorsque l'air entre dans le fourneau. Pour brûler une quantité moyenne d'oxigène, on peut terminer la tuyère par un cylindre S; pour en brûler une moins grande quantité, on peut terminer la bouche par la tronquature naturelle du cône R, parce que le jet, en convergeant, touche une moins grande quantité de charbon, et occasionne moins d'embrasement; enfin, si l'on veut brûler une grande quantité de charbon, on rétrécit la bouche par un autre cône tronqué T; ce qui fait d'abord converger, puis diverger le jet d'air entrant : on peut, en modifiant la forme de l'anneau du cône tronqué, qui termine la bouche, déterminer des jets différents, rendre la vîtesse de l'air à sa sortie plus ou moins grande, et faire brûler plus ou moins d'oxigène.

Il ne faut cependant pas se livrer avec trop de confiance à l'effet de ces différentes formes, parce que les jets d'air lancés par la tuyère, dans le fourneau, s'il était vide, ne sont plus les mêmes lorsqu'il est en feu : les charbons et le minérai, rencontrés par l'air, le font dévier de sa direction, et le font réfléchir sur un grand nombre de points: cette déviation est telle, qu'il est difficile de prévoir d'avance la forme du faisceau d'air. Les tuyères sont faites d'argile, de tôle forte, de fonte ou de cuivre.

Les tuyères d'argile ont l'avantage de pouvoir être refaites de nouveau dans chaque circonstance, selon l'opinion du fondeur, et elles peuvent être changées de forme ou de position, lorsque le besoin ou l'allure du fourneau l'exige; mais elles se terminent toujours aux faces, aux parois du fourneau, et l'on ne peut pas même les plonger dans l'intérieur lorsque la manière d'aller du fondage l'exige.

Les tuyères de fonte, de fer ou de cuivre, sont donc préférables, en ce qu'il est possible de les enfoncer et de les faire saillir plus ou moins dans le fourneau; mais leurs formes sont invariables, et si la marche du fourneau en exigeait une différente, et que le faisceau d'air fût plus ou moins convergent, il faudrait changer les tuyères, ou en placer une seconde dans la première. Quant aux changements d'inclinaison qu'il peut être nécessaire de leur donner, on n'y parvient qu'en les déposant et les replaçant de nouveau.

On ne fait ordinairement usage de tuyères de cuivre que dans les forges, dans les fourneaux d'affinage : on ne les emploie pas dans les hauts fourneaux, parce que leurs bouches y étant très-échauffées, et ce métal pouvant se liquéfier à une assez faible température, elles seraient trop exposées à fondre dans ces fournaises; on préfère donc celles de fer, qui résistent mieux au feu, et qui n'entrent en fusion qu'à une température beaucoup plus élevée. Ces tuyères sont ordinairement de deux pièces; la surface courbe qui est toujours de fer, et la surface plane sur laquelle on pose la première, et qui peut être de fonte.

427. La hauteur à laquelle se place la tuyère, au-dessus du fond du fourneau, dépend, en grande partie, des dimensions des creusets, de la quantité de fonte et de scories qu'on y accumule. Sa hauteur ordinaire varie entre 12 et 24 pouces. Dans les hauts fourneaux à couler des canons, elle est beaucoup plus considérable.

En plaçant la tuyère, on fixe ordinairement sa direction de manière à faire passer son axe U par la verticale menée du milieu du gueulard au fond du creuset; quelquefois, mais rarement, on l'approche un peu plus de la dame. La tuyère peut être placée horizontalement V, inclinée vers le bas X, ou inclinée vers le haut Y. Ces directions dépendent de la fusibilité du minérai et de la nature du fer qu'il doit produire. Lorsqu'il est d'une fusibilité moyenne (1), on peut placer la tuyère horizontalement; lorsqu'il est difficile à fondre, il faut l'incliner vers le haut; lorsqu'il est très-fusible, il faut l'incliner vers le bas. Ces trois inclinaisons produisent des effets différents.

La tuyère inclinée vers le haut, donne à l'air, qu'elle lance dans le fourneau, une grande vîtesse ascensionnelle, et il arrive dans le point où la chaleur doit être la plus grande, dans les étalages, en conservant encore une grande quantité d'oxigène; il peut donc y élever la température à un très-haut degré.

La tuyère horizontale donne à l'air une vîtesse ascensionnelle moins

---

(1) Garney, deuxième partie, chapitre 9, §. 8.

forte; elle fait consumer une plus grande quantité d'oxigène dans l'ouvrage, et lorsque le minérai fondu passe dans le vent de la tuyère, une partie peut s'y oxider, si les gouttes liquides ne sont pas environnées d'une couche de laitier assez épaisse.

En inclinant la tuyère par en bas, on diminue le mouvement ascensionnel de l'air; il parvient aux étalages une quantité d'oxigène beaucoup moins grande, et il s'y produit moins de chaleur; mais cet air, dirigé sur les scories, les pénètre, et parvient quelquefois jusqu'à la fonte. Le courant d'air, ainsi dirigé sur la fonte, la purifie et l'amène à un degré d'affinage très-prochain de l'état de fer. L'action de l'air sur les scories paraît produire, dans plusieurs circonstances, un nouvel avantage, en ce qu'il améliore la fonte, l'affine et détruit, en partie, la mauvaise qualité qu'ont quelques-uns de ces verres terreux, de produire du fer brisant à chaud et cassant à froid (1).

Lorsque les minérais sont réfractaires, qu'ils produisent des fontes difficiles à purifier, et qu'il est utile de leur faire éprouver un premier degré d'affinage dans le creuset des hauts fourneaux, on peut, pour y parvenir, donner à la tuyère deux inclinaisons successives; d'abord on l'incline par en haut, afin de faciliter la fusion des minérais, ensuite, lorsque le creuset est sur le point d'être rempli, on peut, à l'aide de quelques scories que l'on attache à la bouche de la tuyère Z, changer la direction du vent, l'incliner par en bas et sur le bain de matière fondue, pour commencer à purifier la fonte. Cette méthode d'affiner le fer, lorsqu'il est réuni dans le creuset en quantité un peu considérable, est pratiquée dans quelques forges du pays vulgairement nommé *Eiffel,* qui comprend une grande partie des départements de la Sarre, de la Roër et de l'Ourthe; elle a été décrite avec beaucoup de détails par l'ingénieur en chef, Bonnard (2).

428. Quant au mélange des minérais avec les fondants, il faut que

(1) Garney, livre 2, chapitre 9.

(2) Journal des Mines, 17e volume, pages 455 et suivantes.

les proportions en aient été déterminées, soit par des essais particuliers dans des creusets, soit par des essais en grand dans les hauts fourneaux. Quoique l'on puisse parvenir, par la première méthode, à avoir des résultats suffisamment exacts pour servir de guide dans les mélanges, quoiqu'un directeur intelligent puisse, avec ces seuls essais, déterminer quels sont les mélanges qu'il doit préférer, il est bon, pour la généralité des fondeurs, d'employer la seconde méthode, que l'on regarde comme la plus rigoureuse, et qui est la plus généralement pratiquée.

Cette méthode consiste à essayer la fusion des minérais lorsque le fourneau est en pleine activité, que son travail est régulier, et qu'il marche bien; mais comme il serait possible que le minérai fût plus réfractaire qu'on ne le suppose, et que l'on pourrait ainsi courir les chances de déranger le fourneau en faisant les essais, peut-être même de l'engorger et de forcer à *mettre hors,* on est dans l'habitude de ne faire d'essais que quand le travail du fourneau est prêt à cesser, et qu'il ne doit plus produire que quelques fontes; par ce moyen, on peut hasarder davantage et mener plus rapidement les essais, sans craindre les mauvais effets de l'engorgement.

Si les minérais à essayer doivent être fondus seuls, il ne faut en mettre que quelques mesures sur la charge de charbon, et conserver cette faible proportion, jusqu'à ce que la charge soit descendue; puis, relativement à la couleur des matières qui coulent devant la tuyère, à la dureté des scories qui recouvrent le bain, et à la manière d'être de la flamme du gueulard, on jugera s'il faut augmenter ou diminuer cette proportion jusqu'à ce que l'on ait obtenu une assez grande quantité de fonte dans le creuset pour former une percée; alors, en observant la fonte, on a des données exactes sur la quantité de minérai que l'on pourra charger sans addition.

Comme l'oxide de fer seul se fond bien, que la difficulté qu'éprouvent les minérais pour être traités avec avantage provient de la nature et de la proportion des matières terreuses qu'ils contiennent, on verra, et par la proportion des scories obtenues, et par leur manière d'être, si l'on doit ajouter des fondants; dans ce cas, il faut encore faire de nouveaux essais avec cette addition.

Il est inutile d'observer que, si les minérais avaient d'abord été essayés dans des creusets, on aurait eu, d'avance, des données assez exactes pour ajouter de suite l'espèce et la proportion de fondant qui facilitent le mieux la fusion et la séparation, conséquemment, pour n'être pas obligé de répéter les essais en grand un nombre de fois aussi considérable, enfin pour ne regarder ceux-ci que comme une vérification des premiers.

429. Après avoir conclu, par les divers essais, les proportions de minérais mélangés, ou de minérais et de fondants qui sont le plus avantageux pour le travail, on détermine le mélange le plus favorable, celui que l'on doit charger de préférence, et on le dispose d'avance à la proximité du fourneau.

Ce mélange se fait de deux manières : 1° en prenant séparément (lorsqu'on charge) les proportions de chacune des substances qui doivent être mélangées, et en les jetant l'une et l'autre sur le charbon; 2° en faisant d'avance des lits de matières stratifiées, pour charger chaque fois les minérais et les fondants parfaitement mélangés.

La première manière présente un avantage, c'est qu'on peut, chaque fois, changer les proportions des substances, et, par ce moyen, les varier conformément à l'allure du fourneau; c'est ainsi qu'à Allevard, on sépare les minérais de fer spathique qui ont des fusibilités différentes, et que, selon que la fonte coule plus ou moins bien, que les scories sont plus ou moins liquides, que la fusion est plus ou moins parfaite, on augmente la proportion de l'une ou de l'autre variété. Parmi ces minérais il y a une variété de fer spathique à grandes facettes, de la fosse *Barral,* dont la fusibilité est telle qu'elle remet le fourneau en bon état lorsqu'il paraît vouloir s'engorger.

La seconde manière a l'avantage de charger toujours, dans le fourneau, un mélange égal, et de maintenir plus sûrement et plus exactement une marche uniforme, quand le mélange est bien fait; mais aussi, lorsqu'il arrive des dérangements, on ne peut y remédier qu'en augmentant ou en diminuant la proportion du mélange chargée avec le charbon, et l'on peut éprouver ainsi des pertes sur le produit.

Un directeur intelligent, qui connaît la nature, la fusibilité et l'action de ses minérais et de ses fondants, peut employer la premiere méthode avec beaucoup de succès; en faisant varier la proportion des mélanges, il peut remédier à tous les accidents de son fourneau sans en diminuer les produits.

On peut employer la seconde méthode avec plus de sûreté, lorsque les personnes qui dirigent le travail n'ont pas des connaissances exactes de la nature, de la fusibilité et de l'action des substances qu'elles traitent, parce qu'elles peuvent toujours corriger les accidents en diminuant ou en augmentant les charges, relativement au charbon.

Lorsqu'on apporte près du fourneau les différents minérais et les fondants, pour les mettre à la disposition du chargeur, il faut en former des tas séparés sur la plate-forme, afin que les ouvriers puissent préparer d'avance les mesures qu'ils doivent charger successivement.

Si, au contraire, les minérais doivent être mélangés avant la charge, il faut apporter sur la plate-forme, ou dans un endroit à la proximité du fourneau, les quantités déterminées de chaque substance; former d'abord un lit ou une couche de la première, puis étendre les autres dessus, couche par couche, de manière que chacune ait une épaisseur égale dans toute l'étendue du lit; alors le chargeur emplit ses mesures, en enlevant des tranches perpendiculaires à la couche, afin de faire entrer dans sa charge des proportions exactes de chaque substance. On fait usage de cette méthode dans plusieurs endroits, à Johan Georgen-stadt en Saxe (1), à Blankembourg, au Hartz (2), en Suède (3), etc.

DE LA MISE EN FEU DU HAUT FOURNEAU.

430. Lorsque le charbon, les minérais, les fondants, les outils des chargeurs sont disposés, le garde-feu entre dans l'intérieur du fourneau,

---

(1) Voyage métallurgique de Jars et Duhamel, tome 1er, page 74.

(2) *Idem*, page 89.

(3) *Idem*, page 118.

pour le visiter et s'assurer s'il y existe des ouvertures, telles que crevasses ou autres, afin de les faire boucher avant de mettre en feu.

La mise en feu doit être faite avec beaucoup de précaution, parce que si le fourneau s'échauffait trop rapidement, l'intérieur pourrait se gercer et se fendre; quelquefois même l'effort inégal de la chaleur se faisant ressentir jusqu'à l'extérieur, pourrait occasionner des accidents graves.

C'est particulièrement lorsqu'un fourneau est fraîchement construit, qu'il n'est pas entièrement sec, ou qu'il est resté long-temps sans être chauffé, et que l'humidité a pénétré dans son massif, que l'on doit prendre le plus de précautions en l'allumant, parce que cette humidité peut, en se vaporisant, produire, contre les pierres, des efforts violents et préjudiciables. Mais s'il y a peu de temps qu'il est éteint, alors le massif est moins humide, la mise en feu exige moins de soins, et les chances défavorables ne sont pas en aussi grand nombre.

Dans quelques endroits, on commence par sécher le fourneau, s'il est fraîchement construit. Pour cela on fait un feu de bois à l'extérieur et près de la tympe; la flamme et la fumée entrent peu à peu dans le vide intérieur, dans la cuve, et en sèchent les parois.

Quelques maîtres de forge se contentent de couvrir le fond du creuset de sable sec ou de cendre, de mettre, sur ce lit de terre, quelques fumerons ou des morceaux de bois bien secs, et de les allumer. Ce n'est qu'après avoir séché le creuset et l'intérieur du fourneau, qu'ils s'occupent sérieusement de chauffer ce dernier.

431. Pour chauffer, on bouche l'ouverture de la tympe avec de l'argile, seule ou mélangée avec du sable; on place la dame, et l'on bouche plus ou moins l'ouverture de la tympe, puis on emplit la cheminée intérieure de charbon.

Le maître fondeur doit avoir l'attention, en faisant emplir le fourneau, de se faire rendre compte du nombre des charges qu'il contient, afin de déterminer, chaque fois qu'une charge est dans le gueulard, quelle est celle qu'il aperçoit devant la tuyère.

Soit, par exemple, la charge de charbon de cinq rasses, contenant

chacune 3 pieds cubes, ce qui produit 15 pieds cubes; celle du minérai et de la castine de 12 conches, ayant chacune $\frac{5}{12}$ de pied cube, ce qui forme 5 pieds cubes, et pour les deux objets, ou pour les charges entières, 20 pieds cubes.

Soit un fourneau de 24 pieds de haut, depuis la pierre du fond jusqu'au gueulard; que ses étalages soient à 6 pieds au-dessus du fond, et que le diamètre du ventre soit de 7 pieds; enfin, que la capacité ou le volume intérieur de ce fourneau soit de 380 pieds cubes.

On voit que la capacité de ce fourneau peut contenir $\frac{380}{20}=19$ charges, conséquemment que, lorsqu'il y aura au gueulard un vide capable de contenir une charge, il y en aura encore dix-huit dans le fourneau; que celle qui passera et qui coulera devant la tuyère en supportera, au moins, dix-huit autres. Si donc les charges se succédaient d'heure en heure, il y aurait dix-neuf heures au moins que celle qui tomberait dans le creuset serait chargée.

La quantité de matières qui est dans le creuset forme bien un volume de 18 charges = 360 pieds cubes, au moment où l'on remplit le vide du gueulard qui est de 20 pieds cubes; mais le fourneau contient réellement plus de 18 charges, parce qu'une portion du charbon de chaque charge ayant été brûlée en descendant, chacune d'elles ne contient plus 15 pieds cubes de combustible; quoique la capacité remplie du fourneau ne soit que de 19 charges, l'intérieur peut cependant en contenir encore 19, 20 ou 21, lorsqu'on remplit le vide du gueulard; il est donc nécessaire de tenir compte de cette combustion, pour déterminer le temps qu'une charge met à descendre (1).

En emplissant le fourneau, on peut placer, dans le fond du creuset, quelques-uns des fumerons qui se rencontrent souvent dans le charbon,

(1) Chaque charge se compose de charbon, de minérai et de fondants. Comme le charbon se brûle en descendant, il en résulte que le volume de chaque charge diminue avec la quantité de charbon brûlée : ainsi, quoique la capacité du fourneau, remplie de charbon, de minérai et de fondants, soit bien de dix-huit fois 20 pieds cubes, comme chaque charge ne forme plus un volume de 20 pieds cubes, il s'ensuit que l'espace rempli contient plus de dix-huit charges de minérai et de fondants.

et que l'on sépare ordinairement; on peut même, sans inconvénient, en mêler dans la première charge. Ces fumerons se carbonisent lorsque le fourneau est allumé; ils produisent ensuite autant d'effet que d'excellent charbon.

432. Le feu peut se mettre au fourneau par le haut et par le bas: on le mettait anciennement par le gueulard, et il se communiquait de tranche en tranche jusqu'au creuset, sans laisser paraître de flamme dans la partie supérieure. On espérait, par ce moyen, éviter les inconvénients d'un chauffage trop rapide; mais cette manière, comme l'observe Garney (1), est moins avantageuse que celle d'allumer par le bas, parce que si le chauffage est conduit avec précaution, on consume, en suivant cette dernière méthode, une quantité de charbon beaucoup moins considérable que par la première.

C'est donc par le bas et par l'ouverture de la tympe qu'on met le feu, et qu'on allume les fourneaux.

Dans quelques usines, et en particulier dans celles de France, on accumule, devant la tympe, plusieurs mesures de charbon; on jette sur ce combustible quelques peletées de braise ou de charbon embrasé; le feu se propage, la chaleur pénètre dans l'intérieur, le charbon brûle et les parois du fourneau s'échauffent. Aussitôt que le charbon de l'intérieur est échauffé et qu'il peut s'embraser, la combustion se continue et s'entretient par l'air qui pénètre dans la cuve à travers les ouvertures faites à la tympe; la chaleur rougit alors tous les charbons, et au bout d'un temps plus ou moins long, on voit la flamme sortir par le gueulard.

Le charbon, en brûlant, diminue de volume; celui qui est dans la partie supérieure descend pour remplir l'espace que cette diminution occasionne; il se fait un vide dans le gueulard, et lorsque ce vide peut contenir une charge, on le remplit aussitôt avec du nouveau charbon, sur lequel on met ordinairement une demi-conche ou une conche de

---

(1) Livre 2, chapitre 9, §. 2.

minérai. Cette première charge descend, elle forme un vide égal au premier; on le remplit également de charbon, sur lequel on met deux conches de minérai; on ajoute ainsi, successivement, du minérai selon le besoin que le charbon peut en avoir, ou mieux, selon que le fourneau est plus ou moins échauffé.

Quelques fondeurs sont dans l'usage de mettre un peu de minérai sur le charbon, lorsqu'on emplit le fourneau la première fois. C'est une méthode vicieuse. Il est difficile que ce minérai puisse fondre, parce que le fourneau n'est pas encore assez échauffé.

433. Immédiatement après avoir versé la seconde charge dans le gueulard, les fondeurs s'occupent ordinairement de faire les *grilles;* ils fourrent, par le dessus de la dame, dans l'intérieur de l'ouvrage, plusieurs ringards qu'ils placent les uns à côté des autres; ils les rapprochent assez pour empêcher les charbons de tomber; ils retirent ensuite, par la coulée, ceux qui sont restés dans le creuset, et la chaleur qui se réfléchit par en bas, suffit alors pour échauffer le fond. Les grilles sont recommencées jusqu'à ce que la première mine fondue soit prête à tomber dans le creuset; ce que l'on reconnaît par les étincelles que la fonte produit lorsqu'elle rencontre le courant d'air qui entre par la tympe; pour lors on nétoie de nouveau le creuset; on y jette du sable ou de la cendre pour recouvrir le fond et empêcher que la fonte ne s'attache à la pierre qui y est placée; enfin, on bouche, avec de l'argile, l'ouverture de la coulée jusqu'à la hauteur de la dame; on débouche la tuyère; on fait marcher les soufflets, et l'on donne le premier vent.

Dans quelques forges, on laisse la tuyère ouverte depuis le commencement de la mise en feu; mais la quantité d'air qui arrive à-la-fois par cette ouverture et par la tympe, détermine une combustion trop rapide, un échauffement trop prompt, et quelquefois des accidents..

Cette méthode de chauffer permet souvent de charger les premières conches de minérai après vingt-quatre heures de mise en feu, de faire mouvoir les soufflets au bout de quelques jours, et d'avoir de la fonte dans la première semaine; mais aussi elle est sujette à un grand nombre d'inconvénients, dont les principaux sont : 1° de chauffer trop brus-

quement le fourneau, de produire des crevasses à travers lesquelles la chaleur s'infiltre dans l'intérieur de la masse (1); 2° d'occasionner, par une trop prompte évaporation de l'humidité, des efforts, des secousses intérieures, qui détruisent une partie de la solidité du fourneau; 3° de ne pouvoir supporter qu'une augmentation très-lente dans les charges de minérai, de manière à ne parvenir à la charge complète, qu'après avoir consumé une grande quantité de charbon.

434. Les Suédois, qui se sont beaucoup occupés d'améliorer le travail du fer, ont cherché à diminuer ces inconvénients par un chauffage plus lent, et en ne chargeant les minérais qu'après avoir amené la température des parois du fourneau au plus haut degré possible, et cela avec la plus petite quantité de charbon. Cette méthode a été décrite par Swedemborg (2), Garney (3) et plusieurs autres; elle a été traduite en français, par l'ingénieur en chef d'Aubuisson (4). Voici en quoi elle consiste:

On bouche la tuyère, on place, dans le fond du fourneau, quelques lits de fumerons, en les croisant les uns sur les autres, on les allume ensuite avec une branche de bois : lorsque les fumerons sont allumés, on charge du charbon par le gueulard, et l'on ferme l'ouverture de la dame avec une plaque de fonte. Comme la fraîcheur et l'humidité pourraient faire éteindre le feu, si un courant d'air ne l'alimentait pas, on est obligé de laisser, à la plaque de fonte, une petite ouverture que l'on ouvre et que l'on ferme alternativement, jusqu'à ce que le charbon soit bien allumé; alors on cesse d'ouvrir aussi souvent le trou de la plaque; on se contente de la déboucher quelquefois dans les 24 heures, et l'on finit enfin par ne l'ouvrir qu'une seule fois dans le même temps.

(1) Ces crevasses s'agrandissant continuellement pendant le fondage, occasionnent une prompte détérioration dans l'intérieur du fourneau, et obligent à mettre hors beaucoup plutôt qu'on ne l'aurait fait.

(2) Traité du fer, 1re classe, §. 1er, comment on met un fourneau en travail.

(3) Traité de la Fonte des minérais de fer, tome 2, chapitre 9, §. 2.

(4) Journal des Mines, tome 17, page 381.

Il faut charger le fourneau avec du charbon sec; si ce combustible était humide, l'eau qu'il contiendrait nuirait à l'inflammation; il obligerait à ouvrir plus souvent le trou de la plaque avec laquelle on ferme l'ouverture conservée entre la tympe et la dame; donnant ainsi l'entrée à une plus grande quantité d'air, on consumerait beaucoup plus de charbon, et l'on sécherait trop rapidement la cuve.

L'ouverture de la plaque restant fermée, l'entrée de l'air étant interdite, le feu serait bientôt étouffé s'il n'arrivait de l'air d'un autre côté pour entretenir lentement la combustion. Tout fait donc croire qu'il en entre par le gueulard, et qu'il occasionne, en passant à travers les charbons, un double courant; l'un, de l'air atmosphérique descendant, l'autre, d'eau vaporisée, de gaz hydrogène et azote carboné, d'acide carbonique et d'oxide de charbon ascendant.

Cette combustion lente du charbon produit de la chaleur, qui se propage de tranche en tranche, en commençant par le bas, et en remontant jusqu'au gueulard. Cette chaleur vaporise d'abord l'humidité des charbons, et bientôt il ne se dégage plus que du gaz hydrogène et de l'azote carboné, mêlés d'acides carboniques et d'oxide de carbone. Lorsque ces gaz sont abondants et qu'ils parviennent jusqu'au gueulard, ils ont souvent, en se répandant dans l'air atmosphérique, une température assez élevée pour s'y enflammer spontanément; et l'on voit alors une belle flamme violacée lécher la surface des charbons et s'élever au-dessus d'eux; bientôt après la couche supérieure devient rouge, et la combustion est générale.

Lorsque les gaz se dégagent abondamment, et qu'ils ne sont pas assez échauffés pour s'enflammer seuls, on peut, après douze heures de chauffage, aider l'inflammation avec un morceau de bois allumé; aussitôt il se produit une explosion qui se continue et se répète dans toute l'étendue du fourneau : elle est occasionnée par la prompte combinaison du gaz oxigène avec les gaz carbonés.

Immédiatement après l'inflammation, on remplit le fourneau de charbon, et l'on bouche le gueulard pour préserver le combustible de l'action de l'air qui peut arriver par cette ouverture et augmenter la com-

bustion : on le bouche avec des plaques de fonte, avec des pierres et du mortier, ou avec des branches recouvertes de terre et de sable; on conserve seulement une petite ouverture pour laisser dégager les produits de la combustion, afin de ne pas étouffer le feu, de ne pas l'éteindre, et de ne pas arrêter l'embrasement.

A de longs intervalles, on débouche le trou pratiqué dans les plaques du bas, pour y laisser pénétrer un peu d'air.

La chaleur ainsi produite par la combustion lente, dessèche et échauffe les parois; on l'entretient pendant deux ou quatre semaines consécutives, et cela selon l'état du fourneau : il faut plus de temps pour un fourneau fraîchement construit, il en faut moins pour un fourneau nouvellement éteint.

Quelle que soit la lenteur de la combustion, elle existe, sans quoi le charbon s'éteindrait; par cela qu'elle existe, il y a du charbon de consumé, et il faut le remplacer pour entretenir le fourneau constamment plein. On tâte donc, dans le gueulard, en fourrant la *bécasse* par une petite ouverture, pour s'assurer du moment où la consommation est telle que l'on puisse y placer une charge; alors on débouche cette ouverture, on emplit le fourneau de charbon, et l'on rebouche le gueulard pour diminuer la consommation.

Avant de charger, on retire, par le gueulard, les fragments de pierre ou de mortier qui pourraient être tombés sur les charbons; souvent il s'en détache des bords du gueulard fraîchement construit, ou des parois du fourneau; il faut aussi, pendant toute la durée du chauffage, ouvrir entièrement la tympe une fois par jour, pour retirer les fragments de pierre ou de mortier qui pourraient être tombés dans le creuset; mais il faut que cette ouverture soit aussitôt refermée.

435. La consommation ordinaire du charbon, pendant ce chauffage, est de deux à quatre charges : lorsque l'on juge que les parois sont assez échauffées, on découvre le gueulard, on retire les fragments de pierre et de mortier qui pourraient y être tombés, on charge en charbon, et sur le milieu de cette charge A*a* (planche 33), on place deux mesures, ou environ 120 livres de minérai. Cette quantité varie selon sa fusibilité;

on y ajoute aussi des fondants, si le minérai en est susceptible. Cette charge étant assez abaissée pour en former une nouvelle, on ajoute 12 à 15 livres de minérai à la première, et l'on continue à augmenter successivement sa quantité à chaque charge qui se suivent.

On place le minérai dans un creux au milieu des charbons Aa, afin qu'il puisse fondre. S'il touchait les parois, ceux-ci n'étant pas encore assez échauffés retiendraient le minérai qui s'y aglutinerait, et cette aglutination augmentant, occasionnerait des engorgements et nuirait à la continuation du travail.

Comme les parois du fourneau sont déja échauffées, et que, par conséquent, on peut se permettre, sans de grands inconvénients, d'augmenter un peu la vîtesse de la combustion; qu'en outre le minérai exige, pour sa fusion, une température plus élevée, on débouche plus souvent l'ouverture des plaques de la tympe jusqu'à ce que l'on puisse la laisser entièrement ouverte.

Quelques maîtres de forge ouvrent aussitôt la tuyère; mais la rapidité de la combustion, occasionnée par la grande quantité d'air qui entre à-la-fois, produit souvent des dégradations, surtout si les fourneaux sont neufs, s'ils sont humides et s'il y a long-temps qu'ils n'ont été chauffés.

L'augmentation successive du minérai et de la castine dans les charges, doit se faire de manière que le fourneau en contiennent de 8 à 18 quintaux, et même plus, lorsque les premières mesures de minérai arrivent devant la tuyère, ces quantités étant dépendantes de la capacité du fourneau et de la vîtesse de la descente.

436. Si l'on a mesuré avec soin la capacité du fourneau, en le chargeant de charbon, on peut connaître assez exactement l'instant où la première charge arrivera devant la tuyère, en comptant le nombre de charges qui ont suivi la première, sur laquelle on a mis du minérai; si, comme dans le cas particulier que nous avons considéré, le fourneau a reçu 19 charges depuis l'instant où on a mis le premier minérai, on peut croire que celui-ci est prêt d'arriver à la tuyère. Cependant il arrive toujours un peu plus tard, à cause du charbon brûlé dans les autres

charges, et cette quantité dépend de la capacité du fourneau et de la combustibilité du charbon.

C'est toujours au moment où la première charge du minérai arrive devant la tuyère que l'on commence à faire mouvoir les soufflets; à cette époque, la température du fourneau doit être assez élevée pour ne pas craindre l'effet d'un plus grand échauffement occasionné par la plus grande combustion que produit le nouvel air lancé; c'est pourquoi il est passé en proverbe, parmi les fondeurs de fer, *qu'il faut que le vent rencontre le minérai.*

Lors donc que le minérai est prêt à tomber dans le creuset, et que l'on a l'espérance de le voir paraître, on dispose le creuset et la tuyère une demi-heure d'avance environ; le premier, pour recevoir le minérai, et la seconde, pour faire jouer les soufflets. Pour cela, on enlève la plaque qui servait à boucher l'ouverture de la tympe; on nétoie le creuset; on retire les fragments de terre et de mortier qui y sont tombés; on égalise la couche de sable qui bouche la coulée; on retire les charbons embrasés qui sont entre la tympe et la dame; on débouche la tuyère; on la refait si elle est en argile; on lui donne la position fixe et constante qu'elle doit avoir, si elle est de fonte ou de fer; on place les buses des machines soufflantes dans la tuyère, et l'on se dispose à donner le vent.

C'est au moment où l'on donne le premier vent que commence le travail du fourneau.

DU TRAVAIL DU HAUT FOURNEAU PENDANT TOUTE LA DURÉE DU FONDAGE.

On peut diviser en deux parties le travail du haut fourneau pendant la durée du fondage : 1° conduite du fourneau jusqu'à ce qu'il ait atteint une marche uniforme; 2° conduite du fourneau et travail qu'il exige, jusqu'à son extinction et sa *mise hors.*

DE LA CONDUITE DU FOURNEAU JUSQU'A CE QU'IL AIT ATTEINT UNE MARCHE UNIFORME.

437. Nous avons vu qu'au moment où le premier minérai paraissait devant la tuyère, et qu'on le voyait couler goutte à goutte, il fallait com-

mencer à donner le vent. Si l'on fait usage de soufflets de bois, on donne d'abord peu d'eau à la roue qui les fait mouvoir, afin qu'ils aient un mouvement lent de deux à trois coups par minute; puis on augmente cette vîtesse à mesure que le fourneau se sèche et que sa température s'élève, de manière qu'au bout de huit jours la vîtesse des soufflets soit telle, qu'ils fassent de vingt à vingt-deux mouvements par minute. Si l'on fait usage de machines soufflantes, dont la vîtesse puisse être variée, on la modifie dans une proportion analogue à celle des soufflets; si la nature et la forme des machines soufflantes ne permettent pas de varier leur vîtesse progressivement (et selon le besoin), il faut diminuer ou agrandir l'ouverture de la buse, de manière que, sous une pression constante, il puisse arriver au fourneau des quantités d'air dépendantes de son état.

438. La charge de minérai, lorsque l'on donne le vent, est assez ordinairement le quart de celle que le charbon peut fondre : on augmente cette quantité progressivement et à mesure que le fourneau s'échauffe, de manière, qu'au bout de huit jours, la quantité de minérai chargée soit les $\frac{3}{4}$ de la charge ordinaire. Dans beaucoup de circonstances, la marche progressive de l'augmentation du minérai peut être plus rapide ou plus lente; c'est toujours l'état du fourneau, lorsqu'on le met au feu, et la qualité des produits obtenus, qui déterminent la quantité dont chaque charge est augmentée.

Il est essentiel, lorsque la fonte commence à tomber dans le creuset, que le sable qui en recouvre le fond soit déja vitrifié à la surface, et que la couche qu'il forme résiste assez pour que la fonte ne puisse pas la pénétrer, ce qu'il faut principalement éviter (et c'est pourquoi on a étendu cette couche de sable dans le creuset), c'est que la fonte n'arrive pas sur la pierre du fond avant que celle-ci ne soit assez chaude pour empêcher le fer fondu de s'y attacher.

La nature et la composition du sable, l'épaisseur de sa couche, doivent donc être telles que cette matière terreuse se fonde successivement à mesure que le creuset s'échauffe, et qu'elle soit entièrement fondue lorsque la pierre du fond est assez échauffée pour recevoir, sans inconvénient, le régule de fer qui a été liquéfié.

Il faut encore que les bords de la tympe, ceux de la dame, et même les costières, soit couverts de brasques, pour empêcher que le fer fondu ne s'y attache.

Il est essentiel, pour le commencement d'un fondage, que les premières fontes soient faites avec des variétés de minérais très-fusibles, pour que les scories conservent leur état pâteux, prochain de la liquidité, à la température qu'a le creuset, au moment où elles y arrivent.

439. Dans le travail ordinaire, la tympe reste ouverte pour favoriser l'écoulement des scories; mais comme cette ouverture occasionne une grande perte de chaleur lorsque les machines soufflantes sont en mouvement, on doit, dans les premiers instants, boucher cette ouverture avec de la brasque, jusqu'à ce que la matière fondue ait rempli toute la capacité du creuset.

Si le laitier est assez fluide pour couler de lui-même, ce qui est extrêmement rare, on débouche la tympe, et l'on favorise son écoulement, en faisant une rigole dans la brasque, qui recouvre le dessus de la dame, et en jetant un peu de poussière de charbon sur les scories.

Si le laitier n'est pas assez fluide, si la couche supérieure est dure, on la brise en passant un ringard par dessous, et on la tire dehors avec des crochets; on laisse séjourner sur la dame les portions de laitier, tirées ainsi, afin de les échauffer; puis on les retire pour faciliter l'écoulement du nouveau laitier qui s'est formé, qui s'est élevé au-dessus de la dame, et dont on augmente la liquidité avec de la poussière de charbon. Dans le cas où il ne serait pas encore assez fusible, il faudrait le soulever, le briser et le *hâler* dehors, comme le premier. Cette opération se répète jusqu'à ce que le creuset, assez échauffé, maintienne les laitiers dans un état de liquidité qui leur permette de couler seuls.

Dans le commencement du fondage, et avant que le creuset ne soit rempli, des laitiers trop durs s'attachent le long des costières, et il s'accumule de la fonte en masse qui forme des loupes.

On peut, sans de grands inconvénients, laisser les scories s'attacher sur les bords du creuset, parce que, quand il se remplit, le laitier et la fonte qui s'élèvent à mesure qu'ils s'échauffent, arrivent bientôt à la

hauteur des matières attachées ; et comme le creuset a augmenté de température, ainsi que les nouvelles scories, l'un et l'autre déterminent, par leur contact, la fusion des verres terreux attachés aux parois.

Mais lorsque le fer se réunit en masse, et qu'il se durcit pour former des loupes, il faut s'empresser d'arrêter les progrès du durcissement, en rompant et en divisant les masses de métal avec des ringards, et en les recouvrant ensuite avec des scories fluides qui les préservent de l'action de l'air, et les conservent à la température à laquelle elles peuvent rester liquides.

Il faut éviter, autant qu'il est possible, de travailler dans le creuset lorsqu'il s'emplit, parce que le travail ne peut se faire sans déboucher la tympe ; il faut éviter de travailler, même lorsque le creuset est rempli par les scories, parce que ce travail refroidit toujours l'ouvrage, et que tous les soins du fondeur doivent se réunir pour l'échauffer.

440. Souvent la nature de la fonte, celle du laitier, les loupes qui se forment, obligent le fondeur à travailler dans le creuset ; il faut, dans ce cas, le faire avec beaucoup de précaution, et ne travailler qu'avec des outils chauds et même rougis ; on doit éviter, surtout dans les premiers jours, de toucher avec les ringards les faces du creuset, et de les dégrader par des chocs : ces dégradations influent souvent sur la qualité des fondages, et quelquefois même elles obligent à *mettre hors* beaucoup plus promptement qu'on ne l'aurait fait.

Plusieurs des pierres avec lesquelles on construit les ouvrages, et en particulier les pierres calcaires (1), s'amollissent d'abord par l'action du feu, au point que les ringards peuvent les pénétrer ; mais au bout de quelque temps, malgré l'augmentation de la température, elles se durcissent de telle sorte que les ringards peuvent les toucher sans inconvénient, et qu'elles rendent même, en les frappant, un son qui se prolonge plus ou moins loin.

441. Le minérai, continuant de se liquéfier, il tombe, dans le creuset, de

---

(1) Garney, livre 2, chap. 9, §. 6.

la fonte et du laitier; ce dernier s'écoule, la fonte s'accumule et le creuset s'emplit. Les creusets de moyenne dimension sont ordinairement pleins au bout de vingt-quatre heures, dans le commencement du fondage; de très-grands creusets, dans les fourneaux ordinaires, mettent jusqu'à trois jours à s'emplir.

Lorsque le creuset doit s'emplir de fonte dans vingt-quatre ou trente heures, on peut attendre, pour faire la première coulée, qu'il soit entièrement rempli; mais dans le cas où il lui faudrait plus de temps, comme la fonte s'affine dans le creuset en y séjournant, et qu'elle s'épaissit, se durcit en s'affinant, il faut lui donner un écoulement avant qu'elle ne soit trop épaisse, et cet écoulement doit avoir lieu, au plus tard, après trente-six heures de fusion.

Ainsi, lorsque vingt-quatre ou trente-six heures se sont écoulées depuis le moment où l'on a fait mouvoir les soufflets, on perce le trou de la coulée, et la fonte sort. On décrira le travail qu'exige la coulée de la fonte en détaillant les opérations qui ont lieu aussitôt que le fourneau a une marche uniforme.

On doit éviter, dans cette première opération, et pendant tout le temps que le creuset met à parvenir à la température qu'il doit avoir, de laisser couler toute la fonte; il est bon qu'il en reste un peu pour faciliter la continuation de la fusion, et pour maintenir la liquidité du régule de fer qui continue à descendre dans le creuset. Ce n'est ordinairement qu'au bout de huit ou quinze jours, et lorsque celui-ci est assez échauffé, qu'on peut permettre au fondeur de couler tout le fer crû qu'il peut contenir.

Après plusieurs coulées, et lorsque le creuset est arrivé à la température propre à maintenir la fonte liquide, il est nécessaire de le bien nétoyer, d'enlever les laitiers qui se sont attachés aux parois, et de faire retomber, dans le bain, les masses de fonte, les loupes qui se sont durcies et qui se sont attachées inégalement.

Depuis le moment où l'on a obtenu la première fonte, et qu'on la fait couler hors du creuset, la température de celui-ci augmente, la fusion devient plus facile, la fonte et les scories plus liquides, et les fon-

deurs éprouvent moins de difficultés; alors on augmente le minérai et le vent, jusqu'à ce que le charbon puisse supporter toute la charge de minérai qu'il peut fondre, et que les machines soufflantes puissent lancer toute la masse d'air qu'elles doivent fournir pour que la fonte ait la qualité que l'on a lieu d'espérer, ou que l'on se propose d'obtenir : alors le travail devient uniforme.

CONDUITE DU FOURNEAU ET TRAVAIL QU'IL EXIGE JUSQU'À SON EXTINCTION.

442. On a dit précédemment que les ouvriers qui sont employés aux fourneaux sont divisés en deux classes : *chargeurs* et *fondeurs*. Les premiers surveillent la partie supérieure du fourneau, charient et transportent, sur la plate-forme, les charbons, les minérais, les fondants; forment les lits, sondent les gueulards, et y versent les charges. Les seconds surveillent la partie inférieure du fourneau, font donner aux machines soufflantes tout le vent dont le fourneau a besoin, font écouler les scories et la fonte, charient les laitiers dehors, creusent le moule dans lequel la fonte doit couler, nettoient le creuset, sortent la fonte, etc. Le *garde-feu*, qui est particulièrement attaché au travail du bas, surveille toutes les opérations, et indique aux chargeurs les proportions et la nature des minérais et des fondants qu'ils doivent charger chaque fois. Nous allons examiner séparément ces deux espèces de travail.

Travail des chargeurs.

443. Les premières couches de minérai se chargent lorsque les parois du fourneau ne sont pas encore assez chauffées pour les fondre; les chargeurs les éloignent des parois en les plaçant dans un trou, au milieu du charbon, et en les entourant de combustible A*a*; ils évitent, par ce moyen, qu'en descendant, le minérai mal fondu ne touche les parois près desquelles il se refroidirait, s'attacherait et produirait des engorgements; mais aussitôt que les parois commencent à s'échauffer, et qu'elles ne peuvent plus nuire à la fusion des minérais, on étend ceux-ci en couche

horizontale Ab, afin qu'ils puissent se distribuer également dans toute la capacité du fourneau. Les parois étant plus échauffées, et pouvant alors contribuer, par leur chaleur, à la fusion des minérais, on charge celui-ci de manière qu'il touche les parois, et l'on profite ainsi de la chaleur qui s'y est accumulée.

Si les minérais et les fondants sont stratifiés par lits successifs, de manière que chaque couche puisse en contenir une proportion uniforme, on les jette, sans choix, sur le charbon. Mais si les minérais et les fondants sont séparés, les chargeurs doivent avoir l'attention, pendant tout le temps que la marche du fourneau est uniforme, de mélanger partout également les minérais et les fondants, et lorsque le fourneau se dérange, et que, par des causes de dégradation particulière, ou par l'action de l'humidité, il chauffe plus d'un côté que d'un autre, on peut, en chargeant des mélanges plus réfractaires du côté le plus chaud, et de plus fusibles du côté le plus froid, ou bien encore en chargeant des charbons qui brûlent plus ou moins facilement, on peut, disons-nous, rétablir l'uniformité du fondage dans toute la capacité.

444. On mesure ordinairement la charge de charbon au volume, et le minérai au volume ou au poids. Les mesures sont très-inégales dans chaque pays, et l'on n'a, dans chaque charge, que des à-peu-près. Quelques métallurgistes conseillent de peser le charbon et le minérai, afin d'égaliser les charges et de pouvoir établir une marche plus uniforme; mais cette méthode, bonne pour les minérais qui présentent ordinairement peu de variations dans leur densité, occasionnerait de grandes anomalies pour les charbons, selon que le même combustible serait plus ou moins humide; et l'augmentation de la densité du combustible, par l'humidité qui le pénètre, devant être en raison inverse de la chaleur qu'ils produisent, il en résulterait que, pour des poids égaux de charbon, il y aurait de plus grandes différences dans la chaleur, occasionnées par l'humidité, que pour des volumes égaux. Ces considérations doivent donc décider les maîtres de forge à continuer le mode de mesurer le combustible adopté jusqu'à présent, comme le plus propre à régulariser les charges de charbon. Mais comme les charbons des

différents bois ont des densités différentes, et que la chaleur qu'ils produisent, lorsqu'ils sont secs, peut être regardée comme étant proportionnelle à la quantité de carbone qu'ils contiennent, il est nécessaire, en comparant les volumes du charbon consumé dans différents fourneaux, de faire connaître en même temps le poids ou la densité de ce combustible lorsqu'il est sec et qu'il vient d'être carbonisé, afin d'en déduire les proportions qu'il est nécessaire d'employer.

445. La masse des charges peut et doit varier, et elle varie en effet dans chaque usine : 1° selon la capacité du fourneau ; 2° selon la nature du combustible ; 3° selon la fusibilité des minérais. Les fourneaux les plus grands, les charbons les plus combustibles, les minérais les plus fusibles, peuvent supporter des charges plus considérables ; tout consiste donc à les proportionner de la manière la plus économique. La quantité de charbon employée dans chaque charge est de 318 pieds cubes dans un fourneau de la famille de Rauscher, en Carinthie, désigné sous le n° 7 de la Table de Marcher ; elle est de 102 pieds cubes en Suède. Le nombre des charges faites par jour, varie également selon les volumes, la capacité des fourneaux, la nature du charbon et la masse d'air lancée ; il est de 10 par jour dans les fourneaux de Laurwig en Norwège, et de 195 dans celui de Feistritz en Carinthie. On peut voir le tableau des charges de plusieurs fourneaux dans le chapitre suivant. En Suède, où les fourneaux ont des dimensions à-peu-près semblables, les charges de charbon varient entre 12 et 24 tonnes, c'est-à-dire, entre 51 et 102 pieds cubes, et l'on en met par jour 10 à 18 charges. Garney est d'opinion (1), avec tous les métallurgistes instruits, qu'il faut préférer les petites charges, parce que le minérai est mieux mélangé avec le charbon et qu'il coule sans interruption ; il ajoute même que, lorsque la capacité du fourneau exige que l'on fasse de grandes charges, il vaut mieux charger le charbon en deux fois, et jeter sur chaque demi-charge de charbon une demi-charge de minérai et de fondants.

---

(1) Livre 2, chapitre 6, §. 3.

Le fourneau de l'Europe qui fond le minérai avec le plus d'avantage, est celui des Bénédictins de Rettelstein, en Styrie, qui ne brûle que 66 parties de charbon pour en produire 100 de fonte; il charge 166 fois dans la journée, et chaque charge est de 3 pieds cubes de charbon environ. Les deux fourneaux de la famille de Rauscher, en Carinthie, indiqués sous les nos 7 et 8 du tableau de Marcher, et qui ne consume que 95 parties de charbon par 100 de fonte obtenues, chargent, l'un 208, et l'autre 148 fois par jour; le fourneau de Feistrisz, également en Carinthie, qui brûle 99 parties de charbon par 100 de fonte, charge 195 fois en 24 heures.

Il faut, pour produire la fonte dont le creuset doit être rempli, lorsque l'on coule, un nombre de charges plus ou moins grand : ce nombre dépend : 1° de la capacité du creuset; 2° de la richesse du minérai; 3° de la quantité chargée à-la-fois. Dans le plus grand nombre de fourneaux ces charges sont uniformes, c'est-à-dire, que chaque fois on met la même quantité de charbon et de minérai; dans quelques autres, on a l'habitude de faire les charges de minérai inégales : quel que soit le nombre de charges dont la coulée est composée, on met moins de minérai dans les premières, on augmente la quantité jusqu'à la moitié des charges, puis on la diminue jusqu'à la dernière. Supposons qu'une coulée doive contenir 84 mesures de minérai divisées en six charges, si on distribuait ce minérai uniformément, on mettrait 14 mesures par charge, mais si on les distribue inégalement, on peut en mettre 10 à la première, 13 à la seconde, 20 à la troisième, 20 à la quatrième, 13 à la cinquième, et 10 à la sixième. Cette variation dans la distribution est souvent préjudiciable au fourneau, en ce qu'elle produit des fusions inégales et des fontes de différentes natures qui fermentent dans le creuset. Si cette méthode est bonne dans quelques circonstances, pour obtenir une fonte dont l'affinage soit déja avancé, la seconde est, en général, préférable.

Travail des fondeurs.

446. Ils doivent surveiller la fonte du minérai, regarder souvent la

tuyère pour s'assurer si l'œil est libre et si le vent y pénètre bien; de rompre, lorsqu'il est trop long, le *nez* qui se forme sur la tuyère par les matières fondues qui se figent sur ses bords. Ils doivent faire couler les scories, ou les *haller* dehors, si elles sont trop tenaces, et les briser avec un ringard lorsqu'elles se durcissent.

Il faut, lorsque le creuset s'emplit de fer fondu, et que la couche de laitier est peu épaisse, qu'ils préparent les moules pour y couler la fonte; cette préparation se fait ordinairement une demi-heure avant la coulée.

447. Les moules sont de longs creux en forme de gouttière, lorsque l'on coule des *gueuses;* des prismes rectangulaires lorsque l'on coule des *saumons* ou des plaques; enfin ce sont des trous paraboloïdaux, lorsque l'on veut obtenir des *blettes*. La forme des moules, celle des fontes que l'on obtient, dépendent le plus souvent de la manière de les transporter, en usage dans le pays, et du mode d'affinage de la fonte que l'on se propose de suivre.

Les *gueuses* sont de grands prismes triangulaires du poids de 15 à 25 quintaux; elles ont de 16 à 24 pieds de longueur. Cette forme est donnée à la fonte dans tous les pays de plaine, dans lesquels on peut facilement la transporter sur des voitures; ce sont en effet les dimensions les plus faciles et les plus commodes pour ce mode de transport.

Les *saumons* sont des prismes quadrangulaires de 3 à 4 pieds et demi de longueur, du poids de 4 à 7 quintaux. La fonte est obtenue sous cette forme dans plusieurs usines de Styrie et de Carinthie, dans lesquelles on ne donne pas d'issue particulière aux scories : les creusets ne pouvant contenir qu'une petite quantité de fonte, à cause de la masse de laitiers qui la recouvre, on est obligé de les faire couler toutes les quatre ou six heures; il est même quelques fourneaux à deux tuyères où l'on coule toutes les deux heures.

Les *plaques* sont de petits prismes quadrangulaires de 6 à 12 pouces de côté, du poids de 100 à 150 livres. Ces sortes de plaques se coulent dans les pays de montagnes, pour pouvoir être plus facilement transportées à dos de chevaux ou de mulets.

On appelle *blettes,* de petites lames ou feuilles de fonte que l'on produit

pour raffiner plus facilement et plus commodément le fer crû, et pour obtenir à volonté, soit du fer, soit de l'acier, avec la plus petite consommation de charbon. Le mot *blettes* vient de l'allemand *blatt*, feuille, feuillet. Les *blettes* ne s'obtiennent encore qu'en Carinthie; il serait à desirer, pour l'économie du combustible, que le travail que les *blettes* exigent fût introduit dans les forges françaises.

448. Le sol de l'embrasure du devant des fourneaux est toujours recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de sable et de laitier pulvérisés; c'est dans ce sable ou ce laitier que les fondeurs creusent leurs moules; c'est avec des bêches, des pelles ferrées, ou avec l'instrument triangulaire auquel on donne le nom de *charrue*, que la terre retirée est jetée sur les côtés. L'on arrose faiblement ces creux A*d*, A*i*, et l'on bat ensuite les parois pour leur donner plus de consistance. Il faut, en les arrosant, les mouiller avec précaution, parce que trop d'humidité ferait bouillonner la fonte, et ferait jaillir des étincelles qui pourraient quelquefois occasionner des malheurs.

Pour les gueuses, les saumons ou les blettes, le creux des moules A*d*, A*e*, A*g*, sont continués sans interruption; pour les plaques A*f*, on forme plusieurs moules les uns à côté des autres, et l'on établit une communication entre eux par le moyen d'une rigole.

449. Lorsque les moules sont préparés, que le creuset est rempli, on se dispose à couler : pour cela, on arrête les machines soufflantes ou l'on sort la buse de la tuyère, afin d'empêcher qu'elle ne se brûle, et qu'il n'entre dans le creuset de l'air, qui pourrait nuire aux fondeurs : on nettoie la place de la coulée, et, avec un gros ringard dont on a rougi le bout pointu, on perce le massif de sable et d'argile que l'on a élevé à côté de la dame. Souvent le choc du ringard, contre la masse de terre et de sable, suffit pour faire le trou de la coulée; souvent aussi il faut frapper avec une masse sur l'autre bout du ringard, pour le faire entrer de force; celui-ci ayant pénétré jusqu'à la fonte, on le retire peu-à-peu, afin de ménager la sortie du métal, en ne laissant couler le fer fondu que par une petite ouverture, et le fluide arrive ainsi dans le moule : on débouche de plus en plus l'ouverture de la coulée, en retirant le ringard,



et enfin on laisse sortir la fonte à pleine ouverture. Aussitôt que les scories sont assez basses pour pouvoir sortir à leur tour, l'ouverture est agrandie; mais comme elles se figent promptement, et qu'elles ne coulent qu'en partie, il reste toujours dans le creuset une quantité de verre terreux plus ou moins considérable. Il faut retirer avec précaution tous les laitiers qui sont dans le trou de la coulée, jeter ensuite un peu de sable devant l'ouverture, et l'enfoncer dans le trou pour le boucher, le comprimer même, s'il le faut, afin qu'il acquière de la dureté, et qu'il bouche complétement l'ouverture. Si les scories étaient assez corrosives pour faire fondre le sable, on boucherait l'ouverture avec un tampon de terre, soit d'argile seule, de terres et de sable, soit enfin de poussière de charbon et d'argile.

Aussitôt que le creuset est vide, on le nettoie en détachant de ses parois tout ce qui y adhère; pour cela, on abat toutes les substances qui se sont amoncelées au-dessus de la dame jusqu'à 6 pouces de hauteur; on fait entrer, par cette ouverture, des ringards et des crochets; on laisse tomber dans le creuset tout ce qui est fusible, et l'on retire les laitiers durcis que l'on nomme *laitiers de hallage*. On jette du charbon par cette nouvelle ouverture; on l'étend sur l'avant-foyer; on ferme la tympe avec du poussier, du fraisil, et l'on donne le vent de nouveau.

Le laitier de hallage est toujours mélangé de grains de fonte que l'on en sépare avec un marteau ou avec un bocard mu par l'eau.

450. Avant de couler, avant même de retirer le vent, on prévient les chargeurs qui sont sur la plate-forme, en frappant sur une plaque, sur une barre ou sur une masse de fer, pour qu'ils chargent le fourneau si le vide du gueulard est assez grand, afin que le travail de la coulée soit exécuté tranquillement, sans interruption et sans secousse : quelquefois on puise à la *poche* la fonte accumulée dans le creuset, lorsque l'on veut couler de petites pièces. Dans cette circonstance, le fondeur fait un tampon de laitier, dont la longueur est égale à la largeur du creuset; et avant de laisser l'avant-creuset libre, il écume la fonte qu'il contient, et les ouvriers y puisent ensuite le fer fondu, qui est aussi pur qu'ils peuvent l'obtenir; lorsqu'ils ont puisé le fer qui leur est

nécessaire, on coule en gueuses, en saumons, ou de toute autre manière la fonte qui reste dans le creuset.

Suivant la forme et la masse des fontes que l'on veut obtenir, le travail du fondeur se trouve un peu augmenté ou diminué.

Pour la coulée des gueuses, on se contente, lorsque la fonte est dans le moule, de jeter par dessus un peu de sable ou de poussière de charbon, afin de diminuer la vîtesse du refroidissement de la surface supérieure, et de la rendre uniforme dans toute la masse. On jette dans la fonte, après la coulée, tous les grains que l'on a séparés du laitier; quelques-uns se fondent, les autres sont simplement enveloppés par les matières fluides et y restent enchâssés.

Comme les fourneaux qui n'ont pas d'ouverture particulière pour l'écoulement des scories doivent laisser sortir en même temps, par le trou de la coulée, la fonte et les laitiers qui se sont accumulés dans le creuset, on a soin de jeter de l'eau sur la surface du bain des matières obtenues et pendant qu'elles sont encore liquides, afin de séparer plus facilement les scories, qui se figent d'abord, du métal qui reste fondu.

Dans les pays de montagnes, où l'on coule des plaques dans une suite de moules qui communiquent l'un à l'autre par une rigole, on recouvre la fonte avec un peu de sable ou de poussière de charbon, pour favoriser l'égalité du refroidissement; mais lorsque le fer est solidifié, et qu'il est encore chaud, on jette de l'eau sur la fonte qui remplit les rigoles de communication; on la trempe, par ce moyen, et l'on rend cassants les petits cylindres qui attachent les plaques les unes aux autres; on peut donc, lorsqu'ils sont refroidis, les casser facilement pour séparer les masses.

Les *blettes* exigent, pour être obtenues, un travail particulier qui n'a encore été décrit que par MM. Dangenoux et Wendel, dans des mémoires dont Jars et Duhamel ont publié un extrait (1), et par Monge,

(1) Voyage métallurgique, tome 1er, page 61.

d'après les détails que nous lui avons communiqués sur ce travail (1).

La fonte coule dans un grand bassin paraboloïde, creusé devant le trou de la coulée des fourneaux; le fer liquide et le laitier qui le recouvre remplissent entièrement le bassin. On les sépare l'une de l'autre, 1° par la différence de leur densité; 2° par la température à laquelle elles se solidifient.

On jette de l'eau sur cette masse, le laitier se fige aussitôt; on l'enlève à l'aide de ringards et de crochets; on retire ainsi tout le laitier jusqu'à ce que la fonte liquide reste à découvert.

On jette de suite de l'eau sur la fonte; la surface se fige, et avec des ringards et des crochets on enlève une feuille ou gâteau rond et mince que l'on porte hors de l'atelier; on jette de nouvelle eau sur la surface de la fonte découverte, elle se fige également, et fournit une seconde feuille que l'on retire de la même manière; on continue de figer la surface de la fonte avec de l'eau, et d'enlever chaque feuille figée jusqu'à ce que toute la masse ait été divisée ainsi en *blettes* ou en *feuilles*. Plus les feuilles sont minces, mieux on estime cette espèce de fonte, parce qu'elle est plus facile à travailler.

Dans d'autres usines de la Styrie, ainsi que dans plusieurs forges du Nivernais, on se contente de faire couler le régule de fer sur un plan dressé; là, il s'y étend, et le laitier l'y recouvre; on jette de l'eau sur le laitier pour le séparer. On parvient ainsi à enlever, à deux fois différentes, le laitier qui recouvre le bain, et l'on obtient une couche de fonte d'un pouce d'épaisseur environ, que l'on casse ensuite pour la transporter et la travailler. Le laitier, ainsi séparé, est mélangé de grains de fonte; on les dégage en bocardant le verre terreux. Cette méthode est décrite par Jars et Duhamel (2), MM. Dangenoux et Wendel, et le savant maître de forge Rambourg (3).

---

(1) Avis aux ouvriers en fer sur la fabrication de l'acier, page 7; fabrication de canon, page 27.

(2) Voyage de Jars et Duhamel, tome 1er, pages 35 et 38.

(3) Journal des Mines, tome 15, pages 278 et 279.

Nous terminerons cet article par une observation : On a vu précédemment que, quelle que soit la couleur naturelle des fontes blanches, truitées, ou grises, elles blanchissaient toujours lorsque le refroidissement était prompt et subit, et que l'on ne pouvait jamais bien juger, par la couleur, de la nature et de la qualité de la fonte refroidie trop promptement. On vient de voir que, dans le plus grand nombre des usines de Styrie et de Carinthie, quelle que soit la proportion de charbon que les fontes contiennent, et quelle que soit la couleur blanche, truitée ou grise qu'elles auraient eue si elles eussent été refroidies lentement, celle que l'on obtient, par un refroidissement prompt et subit est toujours blanche; d'où il suit que la couleur blanche des fontes de Styrie, de Carinthie et de la Nièvre, ne peut donner aucune idée, aucune connaissance sur la couleur que ces fontes auraient eue, si elles eussent été refroidies lentement et naturellement. Ainsi, les personnes qui donnent au manganèse la propriété de blanchir toutes les fontes produites par les minérais qui en contiennent (1), et qui citent pour exemple la couleur blanche d'une grande partie des fontes obtenues en Styrie et en Carinthie, où l'on traite des minérais de fer spathique qui contiennent du manganèse, ne peuvent et ne doivent tirer aucune conséquence de cet exemple, puisque, comme nous l'avons vu, la blancheur de ces fontes peut être occasionnée par le mode de refroidissement que l'on emploie. Au reste, nous reviendrons sur cette question en traitant de l'influence du manganèse sur la fabrication de l'acier, et nous ferons voir que les minérais qui contiennent du manganèse, tels que les fers spathiques purs, et beaucoup d'autres, donnent aussi des fontes grises, contre l'assertion de quelques métallurgistes (2).

---

(1) M. Stunkel le jeune, Journal des Mines, tome 16, page 177.

(2) M. Stunkel le jeune, *idem*, page 175.

THÉORIE DE LA FUSION DANS LES HAUTS FOURNEAUX.

CARACTÈRES AUXQUELS ON DISTINGUE LEUR MARCHE. CORRECTION QUE L'ON PEUT Y APPORTER LORSQU'ILS SE DÉRANGENT.

Cette section sera divisée en deux parties : dans la première, on développera la théorie de la fusion dans les hauts fourneaux ; dans la seconde, on fera connaître les caractères à l'aide desquels on distingue l'allure et la marche du fourneau, et l'on indiquera les corrections que l'on peut y apporter lorsqu'il se dérange.

Théorie de la fusion dans les hauts fourneaux.

451. Lorsque le minérai a été chargé sur le charbon, celui-ci brûle, et comme la combustion se fait principalement dans le bas du fourneau, dans l'ouvrage, près de la tuyère, la charge descend et laisse un vide près du gueulard, dans lequel on peut mettre une nouvelle charge.

La durée de la descente de la charge du gueulard dans l'ouvrage, et celle du minérai, de l'ouvrage dans le creuset, varient dans chaque usine en raison du mode de travail que l'on suit, du combustible que l'on emploie et du vent que l'on donne. Plus le combustible est léger, plus le vent est considérable, plus la charge descend promptement. Dans un fourneau de 20 pieds de hauteur, à Sainte-Gertrude, en Carinthie, où l'on brûle du charbon de bois de sapin, la durée de la descente du minérai est de trois heures et demie ; dans un des fourneaux de Suède, de 23 pieds de hauteur, dans lequel on brûle du charbon de bois de pin et de sapin, et qui est indiqué sous le n° 49 du tableau de Marcher, la durée de la descente du minérai est de vingt-une heures. Dans les grands fourneaux anglais, de 40 à 60 pieds de hauteur, où l'on brûle du charbon de houille, la durée de la descente du minérai est de soixante-dix à cent vingt heures.

Cette durée de la descente a une grande influence sur la nature de la fonte que l'on doit obtenir ; plus le minérai est de temps à descendre, plus long-temps il est en contact avec le charbon, plus il est exposé à

l'action des gaz carbonés, et plus facilement le métal peut se réduire et se combiner avec le carbone, et par conséquent plus la fonte que l'on en obtiendra sera grise.

La première action de la chaleur sur le minérai est de vaporiser les substances qui sont susceptibles de l'être, telles que l'eau, l'acide carbonique, et peut-être aussi un peu d'oxigène, si la quantité qui y est combinée surpasse celle que le métal peut retenir lorsqu'il est calciné.

Presque toujours les minérais qui ont été calcinés avant d'être fondus, contiennent de l'eau lorsqu'on les charge, parce qu'ayant été exposés à l'action de l'air et de l'eau après le grillage, ce liquide se combine avec eux; aussi, dans les analyses que l'on en fait, faut-il tenir compte du liquide qu'ils ont repris, afin de déterminer exactement, et leurs composants, et leurs produits.

452. Les minérais se placent toujours sur la charge de charbon; ils se sèchent et se calcinent en descendant : dans la charge suivante, ce minérai est recouvert de charbon et s'en trouve enveloppé de toute part : dans cet état, plusieurs causes concourent à le désoxider, à le réduire et à le carboniser. Parmi ces causes, on en distingue principalement deux : 1° l'éparpillement du minérai dans le combustible; 2° les gaz carbonés qui passent à travers.

Si la charge descendait uniformément, et si le minérai était réuni en un seul tas, comme dans les premières charges après la mise en feu, et que le minérai fût placé dans un creux fait dans le charbon A*a*, (planche 33), il resterait en masse, s'agglutinerait en descendant, et il n'y aurait de désoxidé, de réduit par le contact du charbon, que la surface extérieure de la masse; mais on a soin, en chargeant le minérai, lorsque le fourneau est en train, de donner au charbon une surface convexe A*c* dans sa partie supérieure, de manière que le minérai que l'on jette dessus puisse glisser et s'écouler jusque sur les parois du fourneau. Pendant que le charbon descend dans un espace qui s'élargit, le minérai s'étend; les petites secousses que produisent les inégalités de la descente le font passer à travers les espaces que le combustible laisse entre ses fragments, alors il se distribue plus uniformément. Malgré

ce changement dans la distribution, il reste toujours des masses de minérai plus ou moins grandes, qui ne seraient désoxidées qu'à la surface, si la seconde cause, l'action des gaz, ne se réunissait à la première (1).

Le charbon, qui est au-dessous du minérai, se sèche d'abord; l'eau s'en dégage : une portion de ce liquide, plus fortement retenue, se décompose et produit de l'acide carbonique et de l'hydrogène carboné; ces gaz passent à travers les masses de minérai qui recouvrent le charbon; le gaz hydrogène carboné se décompose sur l'oxide métallique, parce que le carbone se combine avec son oxigène.

En descendant, le minérai est plus échauffé, l'air atmosphérique qui a passé à travers les charbons a produit, en s'y combinant, de l'acide carbonique, de l'oxide de carbone et du gaz azote carboné; ces derniers gaz, en passant à travers les masses de minérai, y laissent, y déposent une partie de leur carbone, qui est employée d'abord à désoxider, à réduire le minérai, puis à former, à produire du carbure de fer.

La désoxidation et la carbonisation sont d'autant plus avancées, que les minérais sont restés plus long-temps en contact avec les charbons et avec les gaz carbonés, avant d'entrer en fusion : or, plus la charge met de temps à descendre, plus ce contact est long-temps continué; d'où il

---

(1) Comme il aurait été possible de mettre en question si réellement les gaz carbonés peuvent désoxider le métal, en passant à travers les interstices, les fentes, les pores des minérais, nous en avons appelé à l'expérience. Nous avons placé, dans un canon de fusil, des fragments d'oxidule de fer de l'île d'Elbe; nous les avons fortement chauffés, et nous avons fait passer, à travers le canon, du gaz hydrogène carboné. Les fragments d'oxidules ont d'abord augmenté de volume : il s'est formé des gerçures; le minérai s'est fendillé, le gaz a passé à travers, il les a entièrement et complétement désoxidés; les fragments retirés du canon étaient doux, malléables; ils se dissolvaient dans l'acide muriatique en laissant dégager du gaz hydrogène. Ils avaient perdu, dans cette opération, 29 pour 100.

L'oxidule désoxidé par les gaz carbonés est noir, tandis que celui que l'on désoxide par l'hydrogène pur, dans les expériences de Priesley, Chaussier et Berthollet fils, est d'un blanc plus ou moins jaunâtre.

suit que, toute chose égale d'ailleurs, on obtient de la fonte d'autant plus grise, que la descente de la charge a été exécutée dans un temps plus long.

453. Il est facile de juger ce qui se passe dans un fourneau, d'après l'ordre d'échauffement qui a lieu, et d'après la distribution de la température : celle-ci augmente depuis la tuyère jusqu'à une certaine hauteur dans l'ouvrage, puis elle diminue graduellement jusqu'au gueulard. Cette hauteur du maximum de chaleur varie avec la vîtesse de l'air, la quantité et la nature du combustible.

Les minérais, en descendant, se calcinent d'abord, ensuite ils se désoxident, se réduisent, puis ils se carbonisent. Comme ils descendent continuellement, et que la chaleur augmente de haut en bas, ils s'échauffent en descendant et ils approchent de plus en plus de la température propre à la fusion, alors le minérai et les terres fondent, le laitier enveloppe le métal fondu; ils coulent ensemble goutte à goutte, et tombent dans le creuset en passant devant la tuyère.

En coulant le long des parois, le minérai qui les touche s'échauffe également : si, en fondant il est en contact avec des parois plus chaudes que lui, il coule sans s'y attacher; mais si les parois étaient plus froides, elles refroidiraient ce métal et pourraient même le figer, le fer fondu s'attacherait aux parois et produirait des engorgements.

Selon la nature des parois et des terres mélangées ou combinées dans le minérai, il arrive quelquefois qu'il y a action réciproque entre les minérais, les laitiers et la masse des parois; le métal et les laitiers liquides peuvent agir sur les pierres du mur intérieur, faciliter leur fusion et les dégrader.

454. Lorsque, dans sa descente, la masse du minérai se divise peu, et que les gaz carbonés qui passent à travers n'ont pas entièrement et complétement désoxidé et réduit chaque fragment, les gouttes fondues sont dans des états différents : les unes sont carburées, les autres oxidulées; les matières fondues tombent ainsi dans le bain où les gouttes oxidées rencontrent celles qui sont carburées : l'oxigène et le carbone combinés au métal se réunissent; il se produit alors du gaz acide carbonique,

sortes d'accumulations intérieures qui pourraient encore contribuer à faire engorger le fourneau.

455. On vient de voir que la durée de la descente de la charge avait une grande influence sur la nature de la fonte que l'on doit en obtenir; mais cette durée influe beaucoup aussi sur l'économie du combustible. Pour nous assurer de cette vérité, nous avons fait le relevé de la vîtesse et de la durée de la descente de la charge dans 37 hauts fourneaux de différents pays; nous avons comparé cette vîtesse de la descente de la charge avec la proportion de charbon employée pour produire cent parties de fonte, et il en résulte que, toute chose égale d'ailleurs, la quantité de charbon brûlée est d'autant moins grande, que la durée de la descente est plus longue.

TABLEAU des Charges des différents fourneaux ; du temps qu'elles mettent pour arriver à la tuyère.

GISSEMENTS des FOURNEAUX.	Hauteur.	Volume.	CHARGES DE CHARBON. Volume.	Nombre.	Somme.	Volume du minérai en 24 heures.	TOTAL.	Diminution d'un quart.	Durée de la descente de la charge.	Proportion de charbon consommée par 100 p^e. de fonte.
Nos CARINTHIE.	P^d.	P^c.	P^c.			P^c.	P^c.	P^c.	h.	P.
1. De la famille de Rauscher	18	110	14, 5	54	783	59	842	632	4, 2	137
5. *Idem*	20	124	5, 4	145	790	74	864	641	4, 6	110
6. *Idem*	24	157	5, 4	147	799	80	879	660	5, 7	106
7. *Idem*	24	176	3, 6	208	754	78	832	624	6, 8	95
8. *Idem*	30	228	5, 4	148	808	80	888	666	8, 2	95
9. *Idem*	29	238	7, 25	160	1160	90	1250	935	6, 1	130
12. De Ste.-Gertrude	20	132	14, 45	81	1174	46	1210	908	3, 5	299
14. *Idem*	23	173	7, 25	138	988	54	1042	782	5, 3	182
21. De Huttenberg	22	161	11, 9	145	1247	73	1320	970	4	184
22. De Mossinz	27	224	9, 6	147	1334	91	1425	1069	5	150
23. De Loelling	28	233	7, 25	146	1058	88	1146	860	6, 6	107
24. De Huttl	28	312	9, 6	167	1494	96	1640	1153	6, 5	195
25. De Feystritz	28	344	4, 5	195	884	87	971	729	11, 3	99
STYRIE.										
26. De Neuberg	16	174	23	34	788	43	831	623	6, 6	221
27. *Idem*	21	279	7, 25	100	768	63	831	625	10, 7	196
29. *Idem*	24	338	4, 08	141	715	78	793	595	13, 6	130
34. Vordernberg	17	106	9, 5	87	816	50	876	657	3, 9	148
37. *Idem*	19	170	9, 5	100	955	70	1020	765	5, 3	117
38. De Eisen-artz	19	295	28, 8	57, 2	1647	100	1747	1310	5, 4	183
41. De Lichtenstein	23	125	7, 25	70	537	60	597	448	6, 7	160
BASSE-HONGRIE.										
44. De Libethein	23	216	30, 4	30	926	30	956	717	7, 2	549
45. De Poinick	25	287	28, 12	31	897	32	929	697	9, 8	484
47. De Rohnitz	28	322	22, 6	34½	847	40	887	665	11, 6	361
48. De Theisholz	25	321	28, 3	38	1076	36	1112	834	9, 5	341
SUÈDE.										
49.	23	674	77, 25	12	951	72	1023	763	21, 2	123
50.	29	812	91, 3	18	1644	112	1756	1317	14, 8	130
NORWÈGE.										
51. De Lauerwig	29	678	67, 2	10	672	40	712	534	30, 5	176
HESSE.										
55. De Schmalkalden	20	141	26, 5	24	630	18	648	488	7, 1	168
RUSSIE.										
60. De Ruschwinskoï	23	430	75	30	2252	62	2318	1739	5, 1	321
65. De Petrokamenskoï	35	1831	83, 7	46	3857	207	4064	3048	14, 5	160
68. De Newjanskoï	41	2214	100, 2	52	5215	315	5530	4148	12, 8	115
A DEUX TUYERES. STYRIE.										
76. Aux Bénédictins de Rettelstein	20	200	3, 07	166	391	102	493	370	13	66
A CHARBON DE HOUILLE.										
Glamorgan	60	4500	12	85	1020	170	1190	922	117	260
Angleterre	50	3280	10	82	820	150	970	809	81	263
Idem	40	2260	8	80	640	120	760	634	71, 3	300

Ce tableau est composé de douze colonnes : dans la première, on indique le numéro de l'ouvrage de Marcher, sous lequel les fourneaux sont compris dans son grand tableau ; dans la seconde, les lieux où ils sont situés ; dans la troisième, la hauteur des fourneaux ; dans la quatrième, le volume de la cuve ou de leur vide intérieur ; dans la cinquième, le volume de charbon par charge ; dans la sixième, le nombre de charges pendant vingt-quatre heures ; dans la septième, le volume du charbon chargé dans le même temps ; dans la huitième, le volume du minérai ; dans la neuvième, la somme des deux volumes ; dans la dixième, les trois quarts de ce volume, en partant de la supposition, qu'avant d'arriver à la tuyère le volume, par la combustion du charbon, a été réduit d'un quart ; dans la onzième, le temps que la charge met pour parvenir du gueulard à la tuyère. Soit c la capacité du fourneau, v le volume des charges pendant vingt-quatre heures, diminué d'un quart, comme il est indiqué dans la dixième colonne, et x la durée de la descente ; on a déterminé cette durée par cette proportion, $v : 24 :: c : x = \frac{24c}{v}$.

En comparant les résultats obtenus par des minérais semblables et par des méthodes peu différentes, c'est-à-dire, en comparant les résultats, pays par pays, on voit d'abord,

Que dans les fourneaux de Carinthie, ceux qui ont consumé le moins de charbon, qui n'ont brûlé que 95 à 99 parties de ce combustible pour obtenir 100 parties de fonte, la charge a mis près de sept heures à descendre dans le n° 7, plus de huit dans le n° 8, et plus de onze dans le n° 25 ; tandis que dans les fourneaux n°s 1, 12, 21, etc., où la même quantité de fonte a consumé 137, 299, 184 parties de charbon, la durée de la descente n'a été que de 4^h, $3^h\frac{1}{2}$ et 4^h.

Les fourneaux de Styrie présentent plus d'anomalie dans leur marche ; cependant, dans celui des Bénédictins, n° 76, qui n'a consumé que 66 parties de charbon pour 100 de fonte ; dans celui de Neuberg, n° 29, qui en a consumé 130, la charge a descendu en treize heures, tandis que dans ceux de Neuberg, n° 26, et Eisen-artz, n° 38, où

la descente n'a duré que cinq à six heures, la consommation a été de 183 à 221.

Le fourneau de Vordernberg, n° 37, dont la descente n'a été que de 5^h, 3, n'a consumé à la vérité que 117 parties de charbon; c'est une anomalie qui peut tenir à la nature du charbon et à l'ouverture du gueulard.

Dans la Basse-Hongrie, le fourneau de Libethein, qui dépense 549 parties de charbon, laisse descendre la charge en sept heures; et dans celui de Rohnitz, qui ne dépense que 361 parties de charbon par 100 de fonte, la durée de la descente est de 11^h, 6.

En Russie, dans le fourneau de Ruschwinskoï, qui dépense 321 parties de charbon, la charge ne met que cinq heures à descendre, tandis que dans celui de Newjanskoï, où elle met près de treize heures à descendre, on ne dépense que 115 parties de charbon par 100 de fonte.

Il faut le répéter, un tableau construit sous ce rapport doit présenter une foule d'anomalies, soit par la nature du charbon employé, soit par la variation dans le minérai que l'on traite, soit enfin dans les proportions du fourneau, la conduite du travail, ou par toute autre cause; il suffit, dans ce cas (pour tirer une conclusion qui s'approche de la vérité), que le plus grand nombre des faits conduise à un résultat, et que les autres s'en approchent plus ou moins.

456. On peut, en chargeant un fourneau, mettre des proportions différentes de charbon et de minérai. Lorsque la proportion de minérai est petite par rapport au charbon, la charge met plus de temps à descendre, et le minérai est dans un contact plus immédiat avec le charbon; deux effets qui concourent ensemble à produire de la fonte grise.

Relativement à la quantité d'air lancée dans le fourneau, il y a, dans les vingt-quatre heures, une quantité de charbon consumée : si le fourneau est entièrement rempli de combustible, la charge mettra un temps déterminé à descendre, c'est-à-dire, à consumer le charbon contenu dans le fourneau; mais si ce charbon est mélangé de minérai, deux causes concourent à faire consumer plus promptement le charbon que le fourneau contient : 1° sa quantité sera moindre, puisque le minérai mélangé

remplace une partie du vide; 2° l'oxigène des oxides de fer se combine avec une partie de charbon, pour former de l'acide carbonique ou de l'oxide de carbone, tandis que le métal révivifié se combine avec une autre partie de ce combustible; ainsi, lorsque l'on mélange du minérai avec du charbon, l'oxigène des oxides métalliques, l'action du métal révivifié sur le charbon, se réunissent à l'oxigène de l'air lancé par les machines soufflantes, pour consumer le charbon qui, lui-même, est déja diminué de volume; d'où il suit que les charges doivent descendre d'autant plus promptement, qu'il y a plus de minérai mélangé avec le charbon.

Lorsque le minérai est chargé en petite proportion avec le charbon, bientôt il parvient, par les secousses successives que la charge éprouve en descendant, à se mêler intimement avec le combustible; et l'action des charbons en contact, d'une part, et celle des gaz carbonés de l'autre, concourent à désoxider, à révivifier et même à carburer le métal.

Il suit donc, de cet examen, que l'on peut obtenir des fontes variées, des fontes plus ou moins carburées, des fontes plus ou moins grises, selon que les minérais auront été mélangés en plus ou moins grande proportion avec le combustible.

Non-seulement la proportion de minérai contribue à faire varier la nature de la fonte, mais elle contribue aussi à augmenter ou à diminuer la température du fourneau, et à accélérer ou à retarder la fusion.

Le fourneau étant plein de combustible, toute la masse de celui-ci est employée, par sa combinaison avec l'oxigène et avec les différents gaz qui se dégagent, à produire de la chaleur; et, comme dans chaque point de la surface des tranches, à travers lesquelles passe l'air, il doit y avoir de la chaleur de produite, et que la température de chaque tranche est d'autant plus élevée, qu'il s'y dégage, qu'il s'y concentre plus de chaleur, il s'ensuit que chaque tranche successive parviendra à la plus haute température où elle puisse atteindre; mais lorsque le charbon est séparé par des fragments de minérai, il y a d'abord, dans chaque tranche, des vides remplis par des matières incombustibles dans lesquelles il ne se produit pas de chaleur. Ces vides doivent donc contri-

buer à empêcher que la température des tranches n'arrive à un degré aussi élevé que celui qu'elle aurait pu atteindre s'ils n'eussent pas existé; ensuite, ces substances s'échauffent et se fondent, elles consomment, pour s'échauffer et pour se fondre, une partie de la chaleur produite dans chaque tranche, ce qui contribue encore à diminuer leur température.

Il est vrai que si tout l'oxigène de l'air était brûlé avant que celui-ci ne sortît du fourneau, on pourrait croire, quelle que fût d'ailleurs la proportion de minérais chargés avec le combustible, que toute la quantité de chaleur qui peut être produite par cette combustion n'éprouverait aucune variation par la quantité de minérais mélangés ; mais aussi, dans cette hypothèse, toute cette chaleur serait dégagée dans un plus grand espace; d'où il résulterait que la température de l'ouvrage et celle des étalages, où le minérai doit être fondu, se trouveraient diminuées de toute la chaleur qui, étant répartie dans le reste du fourneau, augmente sa température; et comme c'est dans l'ouvrage qu'il faut concentrer la chaleur, on manquerait, par cette mauvaise distribution, le but que l'on s'était proposé; l'on fondrait mal, et même quelquefois on ne parviendrait pas à fondre le minérai, quoique cependant la quantité totale de chaleur dégagée fût la même. Ainsi, quoique, dans cette hypothèse, la quantité de chaleur dégagée soit la même, dans le même temps, il en résulte cependant que toute cette chaleur n'est pas employée à échauffer le fourneau, car une portion est interceptée par le minérai lui-même pour le chauffer, le ramollir et le fondre, et la quantité que le minérai absorbe, et qui diminue d'autant celle qui est produite par la combustion, augmente à mesure que les proportions de ces substances, mélangées au combustible, deviennent plus grandes. Il suit de ceci que le minérai chargé avec le charbon diminue la température de l'ouvrage et celle des étalages, où la fusion doit s'effectuer, et que cette diminution est occasionnée : 1° par la quantité de chaleur interceptée par le minérai pour se fondre; 2° par une mauvaise distribution de la chaleur dans l'intérieur du fourneau et dans un plus grand espace.

On peut citer la variation de la température dans un fourneau, et

celle de la couleur de la fonte qu'on en obtient (quand elles sont occasionnées l'une et l'autre par la proportion du minérai), comme des exemples de ce qui se passe lors de la mise en feu d'un haut fourneau, et plus particulièrement dans le travail d'une semaine des *fluss-offen* de Styrie et de Carinthie.

457. Lorsqu'un fourneau est sec, et que l'on commence à lui donner du minerai, on en charge d'abord très-peu; celui-ci met beaucoup de temps à descendre; enfin il paraît devant la tuyère, et l'on fait mouvoir les soufflets.

On augmente ensuite le minérai peu-à-peu, ainsi que le vent des soufflets, et cela jusqu'au huitième jour; le fourneau alors s'échauffe graduellement par deux causes : 1° parce qu'il n'y a pas encore assez de minérai proportionnellement au charbon chargé chaque fois; 2° parce qu'il se consume plus de charbon dans vingt-quatre heures qu'il n'en faut pour maintenir la température au point où elle est déja arrivée; et cette consommation de combustible, augmentant chaque jour avec la quantité d'air lancée dans le fourneau, la température doit continuer à s'élever; mais au bout du huitième jour, lorsque les soufflets donnent tous leurs vents, et que la production totale de la chaleur n'augmente plus par cette cause; comme il n'y a pas encore une assez grande proportion de minérai avec le charbon pour que la température du fourneau reste stationnaire, celle-ci va encore en croissant, de manière à devenir plus grande qu'elle n'est nécessaire pour fondre le minérai. On peut donc, d'après cela, augmenter la quantité du minérai jusqu'à ce qu'enfin sa proportion, par rapport au charbon, soit telle, que la température soit exactement celle dont le fourneau a besoin pour que le minérai soit traité et fondu avec bénéfice; pour lors on conserve cette proportion, de manière que le fourneau n'éprouve plus de variation dans sa température. Mais si, par un changement dans la nature du charbon, dans la fusibilité du minérai, dans la quantité d'air lancée, ou par toute autre cause, le fourneau augmentait ou diminuait de température, on pourrait de même augmenter ou diminuer, de suite, la proportion de minérai, jusqu'à ce que la température fût arrivée au terme le plus favorable à

la fusion; lorsqu'on l'a atteint, le fondeur doit réunir tous ses moyens pour maintenir ce terme, et cela en chargeant constamment la même proportion de minérai et de fondant, en brûlant une égale quantité du même charbon, et en faisant entrer la même masse d'air dans le fourneau.

En observant la nature de la fonte à chaque coulée, on voit que, dans le commencement du fondage, si le fourneau a été assez échauffé pour que le minérai ait pu fondre, le fer obtenu est gris, quelquefois même, noir; mais aussi qu'il est bien prêt d'être raffiné; et tant que la proportion de minérai n'est pas assez grande, et que la température du fourneau est assez élevée, sans être encore à son maximum, la fonte reste grise; mais aussitôt que la proportion de minérai est trop grande pour la température, la fonte devient blanche.

458. Le travail des *fluss-offen* de Carinthie, décrit avec beaucoup de détails par Jars et Duhamel (1), est peut-être ce qu'il y a de plus propre à donner une idée exacte de la marche de la température et de la variation de la fonte que l'on obtient en changeant les proportions des minérais.

Ces sortes de fourneaux n'ont que 10 à 12 pieds de hauteur; leur capacité est de 80 à 90 pieds cubes (2); ils ne sont allumés que six jours de suite : on y met le feu le lundi matin, et on les éteint le samedi soir : la charge ne met que $2^h \frac{3}{4}$ à $3^h \frac{1}{4}$ à descendre.

On emplit d'abord le fourneau : on l'allume, et l'on fait aller les soufflets; lorsque le combustible est un peu descendu, on met une charge de charbon que l'on recouvre d'un peu de minérai; on augmente la

(1) Voyage métallurgique, tome 1er, page 35.

(2) Jars et Duhamel prétendent que l'on emplit ces fourneaux avec dix-huit paniers de charbon, de chacun 8,5 pieds cubes, ce qui porte la capacité à 153 pieds cubes; mais ils disent aussi, page 34, que ces fourneaux sont formés de deux pyramides quadrangulaires tronquées, celle du bas à 4 pieds de haut, 7,5 pieds carrés de surface dans le bas, et 9 dans le haut; le volume est donc de 35 pieds cubes environ. La seconde a 8 pieds de haut, 9 pieds carrés à la base, et 4 au sommet; le volume est donc de 50 pieds cubes environ; donc en tout 85.

proportion de celui-ci à chaque charge, jusqu'à ce que le charbon puisse supporter toute la quantité de minérai qu'il doit fondre.

Aussitôt que le fourneau est en train, on coule toutes les deux ou trois heures : la quantité de fonte, par coulée, est communément de 3 à 4 quintaux.

La fonte et les laitiers sortent ensemble et se réunissent dans un grand bassin plat. On jette de l'eau sur la coulée pour solidifier les scories et les séparer ; la fonte, se refroidissant très-rapidement par l'eau que l'on jette dessus et par sa petite épaisseur, devient ordinairement blanche, quoiqu'elle contienne souvent une grande proportion de carbone, et cela, parce qu'elle a été refroidie trop promptement.

Depuis le lundi matin jusqu'au mardi à midi, que la proportion de minérai n'est pas encore assez grande pour la quantité de charbon que l'on brûle, le fourneau s'échauffe graduellement, et la fonte que l'on obtient est *dure*, un peu affinée ; elle est destinée à faire de l'acier (1). Aussitôt que le fourneau est assez échauffé, on augmente la quantité de minérai ; on en met un peu plus que le charbon ne peut en supporter, et la fonte que l'on obtient alors est *tendre*, peu raffinée : elle est destinée à la fabrication du fer (2).

Mais le fourneau se refroidissant graduellement par cette surcharge de minérai, on ne peut couler, en *fonte tendre*, que jusqu'au vendredi après-midi ; il faut alors diminuer un peu la proportion de minérai, sans quoi le fer s'attacherait au fond du creuset. En diminuant le minérai, on obtient de la fonte *dure* (3) que l'on destine à la fabrication de l'acier.

---

(1) La fonte que l'on destine à la fabrication de l'acier doit être très-carburée.

(2) On destine, pour la fabrication du fer, la fonte la moins carburée, parce qu'elle se raffine plus facilement.

(3) Plus la fonte contient d'oxigène, plus elle acquiert de fusibilité, plus facilement elle se comprime et se travaille sous le marteau, plus elle est blanche, plus elle est *tendre* ; mais aussitôt que la fonte se combine avec le carbone, la quantité d'oxigène qu'elle contenait diminue ainsi que sa fusibilité ; elle devient grise ou noire, elle est plus difficile à forger, elle devient *dure*.

tité de charbon est brûlée dans un temps plus court. Le charbon léger se brûle plus vîte, plus facilement que le charbon dur. La même quantité d'air, en traversant toute la capacité du fourneau, peut donc se combiner complétement ou incomplétement avec le charbon, selon la combustibilité de celui-ci ; d'où il suit que l'on peut augmenter ou diminuer la température du fourneau, entre des limites très-étendues, en augmentant ou diminuant la quantité d'air lancée par les machines soufflantes, et en changeant la nature du charbon, lorsque l'on en a la facilité.

Un des résultats le plus essentiel que l'on doit se procurer dans un haut fourneau, c'est d'obtenir la température propre à la fusion du minérai, de manière que la même quantité de charbon produise une plus grande masse de fonte, de la qualité demandée ; ce résultat peut toujours être obtenu, en variant la vîtesse des soufflets. Si le minérai est très-fusible, que la charge passe trop promptement, que la fonte soit trop crue, trop blanche, on peut diminuer la quantité d'air ; le fourneau s'échauffera moins, le charbon supportera moins de minérai, la charge descendra plus lentement, et la fonte sera plus grise et plus affinée : si la fonte est trop grise, trop affinée, il faut augmenter la quantité d'air lancée par les machines soufflantes. La température du fourneau s'élève, le charbon brûle plus vîte ; il peut supporter plus de minérai, la fonte est plus liquide, moins affinée, et la consommation du charbon diminuée.

Des signes auxquels on distingue, on reconnaît l'allure du fourneau ; des corrections que l'on peut apporter au travail lorsqu'il se dérange.

461. Comme il est impossible de pénétrer dans l'intérieur des fourneaux, pour observer leur marche, les fondeurs réunissent toutes les observations qu'ils peuvent se procurer, afin de deviner, d'apprendre, de reconnaître, de juger ce qui se passe dans l'intérieur, de prévoir les accidents qui peuvent arriver dans le fondage, et d'y apporter le plus promptement possible les remèdes et les correctifs qu'ils exigent.

Les signes auxquels on juge de la marche du fourneau sont en très-grand nombre. Parmi eux, il en est cinq dont on fait constamment usage, et qui suffisent presque dans toutes les circonstances dans lesquelles on peut se trouver; ces indices sont ceux que présentent : 1° la fonte, 2° les laitiers, 3° les effets qui ont lieu devant la tuyère, 4° la flamme, 5° le bruissement que le travail fait entendre.

462. Lorsque la *fonte* coule extrêmement liquide, qu'elle reste longtemps fluide, qu'elle se fige, se durcit difficilement; qu'en se figeant, la surface devient concave, parce que son volume peut être diminué en passant de l'état liquide à l'état solide; qu'elle présente des arêtes vives; que la surface se couvre de petites lames brillantes de carbure de fer; enfin que sa cassure donne un grain noir; c'est une preuve que le fourneau est très-échauffé; que la proportion de minérai est trop petite; que l'on consume trop de charbon : on doit, dans ce cas, augmenter la proportion de minérai dans la charge.

Si, en débouchant le fourneau, la fonte est pâteuse et tenace, qu'elle coule difficilement, cette défectuosité peut avoir deux causes : la première, que la fonte est trop raffinée, ou qu'il y a trop de charbon; la seconde, qu'elle est trop oxidée, ou qu'il y a trop de minérai. On distingue ces deux caractères, le premier, parce que la coulée de la fonte est brune, qu'elle ne lance point d'étincelles, qu'elle se fige lentement, et que sa surface devient concave; le second, parce qu'elle lance un grand nombre d'étincelles brillantes, qu'elle se fige promptement, que ses arêtes s'arrondissent, que sa surface devient convexe, parce qu'elle est augmentée de volume en se refroidissant; enfin, que sa cassure est blanche après un refroidissement lent, et qu'elle présente des lames plus ou moins grandes. Dans chacun de ces deux cas, il faut échauffer davantage le fourneau; mais, dans le premier, on augmente la quantité d'air lancée par les machines soufflantes; dans le second, on diminue la proportion de minérai dans la charge.

Quand la fonte coule bien, qu'elle lance de faibles étincelles, qu'elle se fige lentement, que sa surface est plane (parce qu'elle conserve son même volume en se solidifiant), que sa cassure est truitée, le fourneau

est arrivé à un bon point, à une température qu'il peut et qu'il doit conserver; la proportion du charbon brûlée est convenable, il faut continuer celle du minérai dans les charges, ainsi que la quantité d'air lancée (1).

463. Les *laitiers* varient d'une usine à une autre; ils dépendent de la nature et de la proportion des terres mélangées ou combinées avec le minérai; les uns produisent un mélange très-fusible, les autres un mélange d'une demi-fluidité, c'est-à-dire, dont l'état est pâteux, visqueux et coulant. Ils varient encore avec la quantité d'oxide de fer ou de manganèse dissous; ces oxides leur donnent plus de fluidité et moins de ténacité. Lorsque les minérais contiennent du manganèse, la plus grande partie de ce métal, à l'état d'oxide, se combine naturellement avec les laitiers; quant à l'oxide de fer, on est maître de favoriser ou d'empêcher sa combinaison, et cela en augmentant et en diminuant la vîtesse de la descente de la charge, et en préservant le métal du contact de l'air, lorsqu'il passe devant la tuyère.

---

(1) Les caractères de la fonte que l'on vient de décrire devant être ceux qu'elle doit donner lorsque le fourneau est chargé avec de bonnes proportions de charbon et de minérai, et que la vîtesse et la quantité d'air sont bien appropriées aux dimensions du fourneau, à la nature du combustible, à celle du minérai et à la nature de la fonte que l'on veut obtenir, ces caractères, disons-nous, peuvent et doivent changer, lorsque l'on se propose d'obtenir une fonte d'une autre nature, et qui ait une destination particulière.

Il est des circonstances où la fonte blanche, que dônne le fourneau allant bien, est beaucoup plus utile que la grise, principalement lorsque l'on veut la convertir en fer doux, soit en la raffinant seule lorsqu'elle n'est point par trop blanche, soit en la mélangeant avec des fontes grises lorsque l'on en obtient dans d'autres fourneaux; il est aussi des cas où la fonte grise est nécessaire, soit pour fabriquer de l'acier, soit pour être refondue afin d'en couler des objets qui peuvent et qui doivent être travaillés à la lime et au ciseau. Dans ces circonstances, il faut donner au fourneau une allure telle qu'il procure la fonte demandée, avec le plus d'économie possible : on y parvient en changeant, en variant la quantité d'air lancée; on diminue cette quantité pour obtenir une fonte très-grise; on l'augmente pour obtenir de la fonte plus blanche, et cela en conservant une marche uniforme dans le fondage.

L'état le plus favorable des laitiers est celui où ils sont assez coulants pour se séparer des grains de fer, où ils ont assez d'adhérence pour envelopper les gouttes de fonte, et qu'ils peuvent avoir de la ténacité, de la viscosité, et s'étendre en longs fils; enfin, lorsqu'ils ont dissous très-peu d'oxide de fer. Cet état peut être obtenu à la température la plus favorable à la variété de fonte que l'on veut avoir, en mélangeant convenablement les minérais, ou en ajoutant les fondants nécessaires.

464. On peut obtenir des laitiers durs et peu coulants, qui aient plus ou moins de liquidité, en chargeant trop ou trop peu de minérai : lorsqu'il y a trop de minérai pour le charbon, et que le fourneau se refroidit, le laitier se fige; lorsqu'il y a trop peu de minérai et pas assez de vent, il se fige encore. On distingue ces deux causes, en ce que, par excès de minérai, le laitier contient de l'oxide de fer combiné et dissous, qu'il retient même du minérai non fondu, qu'il est noir, homogène, très-cassant, quelquefois translucide; et par excès de charbon, au contraire, il est pur, sa couleur est blanche ou grise; il a une grande ténacité, et il renferme des globules de minérai plus ou moins gros, parce qu'ils n'ont pu le traverser.

Le laitier peut être liquide ou coulant, soit avec une faible proportion de minérai, le fourneau chauffant trop, soit avec un excès de minérai, le fourneau chauffant assez; dans le second cas, le laitier dissous de l'oxide de fer, devient liquide et coule avec une grande facilité; mais il se fige promptement, il a l'apparence vitreuse; avec trop peu de minérai, le laitier reste tenace, il coule plus lentement, il ne contient pas de fer, il est plus long-temps à se durcir.

Un fourneau qui chauffe trop et qui a beaucoup de fondant, produit un laitier dur, qui coule difficilement, qui est susceptible de s'attacher aux parois du fourneau et aux outils; qui est blanc, léger après le refroidissement, qui est parsemé de petites écailles luisantes de carbure de fer; enfin, qui devient sec et cassant : il faut, pour corriger ce laitier, ajouter du minérai riche.

Avec une trop faible quantité de minérai et une proportion de fon-

dants convenable, les laitiers deviennent plus coulants; mais ils sont encore extrêmement tenaces; ils se figent plus lentement, adhèrent moins aux outils, prennent, en se refroidissant, une apparence plus vitreuse, sont translucides sur les bords. Dans ces deux circonstances, il faut augmenter la proportion de minérai, parce que celle du charbon est trop considérable.

Des laitiers coulants, qui se rompent facilement, qui ne produisent que de courts filets en les tirant, et qui sont près de perdre leur fluidité en sortant du fourneau, enfin, qui se gonflent, qui sont lourds, contiennent beaucoup de fer dissous et mélangé, ils retiennent même du minérai qui n'est pas fondu; ces laitiers, qui deviennent caverneux en se refroidissant, indiquent que le fourneau se refroidit, et que la proportion du minérai est trop considérable.

Mais, lorsqu'un laitier est coulant, qu'il se tire en longs filets, qu'il ne s'attache pas aux outils, qu'il est moyennement pesant, qu'en se refroidissant il est compacte, peu caverneux, que sa couleur est bleue ou noirâtre, qu'il a l'aspect de la porcelaine, ce laitier est bon, il indique une bonne marche dans le fourneau, une bonne température et une bonne fusion; il faut continuer la charge du minérai.

On peut encore distinguer les laitiers, en plongeant dans le bain un ringard ou un crochet froid. Si les scories qui s'y attachent sont blanches, bien vitrifiées, le fourneau chauffe trop; si elles s'y attachent en petite quantité, et si le laitier attaché est noir, caverneux, qu'il retienne même des minérais non fondus, le fourneau ne chauffe pas assez. Il faut augmenter le minérai dans le premier cas et le diminuer dans le second.

465. La *tuyère* a une ouverture par laquelle l'air entre dans le fourneau; on peut, par cette ouverture, à laquelle quelques fondeurs donnent le nom d'*œil*, observer ce qui se passe dans le bas du fourneau, devant la tuyère.

On voit, par l'œil de la tuyère, le bain de scories, dont l'aspect et la couleur indiquent la température et la marche du fourneau : si la couleur est d'un rouge-blanc, que le laitier paraisse très-fluide, la tempé-

rature est trop forte; il faut augmenter le minérai; si la couleur est noire, que la surface du centre soit raboteuse, le creuset n'est pas assez chaud, il faut diminuer la proportion du minérai. Pour que les scories présentent l'aspect d'un bon travail, il faut qu'elles paraissent liquides, et que la couleur de leur surface soit d'un rouge-verdâtre.

Si le laitier est trop coulant, on peut craindre qu'il n'attaque, qu'il ne corrode les parois du creuset; on y remédie en variant la charge du minérai et la vîtesse du vent; si le laitier est trop dur, et qu'il se colle aux parois, qu'il ait une tendance à engorger le creuset, ce défaut pouvant être produit, ou par la nature et la proportion dans la charge du minérai, ou par une mauvaise disposition de la tuyère qui laisse des angles, des parties du creuset non exposées au vent, il faut y apporter le remède que la cause commande; mais si l'épaississement du laitier était trop considérable, et que l'on ne pût pas attendre, sans danger, l'effet de l'augmentation de la chaleur, on pourrait jeter par la tuyère, sur le laitier, des minérais corrosifs et pulvérisés, contenant des pyrites de cuivre, ou mieux, des rognures de cuivre; cette correction doit être employée, toutefois, avec beaucoup de circonspection, parce que le cuivre altère la bonté de la fonte, la rend propre à produire du fer brisant à chaud, et que ce métal, mélangé dans les scories, les rendrait dissolvantes et corrosives, enfin, qu'elles pourraient attaquer les parois du creuset. Dans tous les cas, comme ce correctif n'agit que sur les laitiers sur lesquels on le jette, il ne faut pas négliger d'attaquer directement la cause qui produit le mal.

Il faut que la tuyère ait son ouverture libre, afin que l'air sorte facilement et puisse se répandre dans toute la capacité du fourneau : la fonte, en tombant sur le bord de la tuyère y est souvent refroidie par l'air qui entre dans le fourneau; si le fer liquide était trop refroidi par le vent qui sort de la tuyère, il pourrait s'y fixer et boucher son ouverture.

466. Le laitier ou la fonte, qui s'attachent sur l'extrémité de la tuyère, forment un alongement auquel on donne le nom de *nez;* c'est par ce *nez* que l'on juge de la température de plusieurs fourneaux :

dans le travail du fer, il ne sert que dans quelques circonstances, et le plus souvent on le brise lorsqu'il se forme.

Comme le nez peut avoir deux causes différentes, soit parce que l'on a trop chargé en minérai, soit parce que l'on a trop chargé en charbon, il faut que les fondeurs sachent distinguer celle qui l'occasionne : le premier est formé par du laitier; le second l'est par de la fonte raffinée; on lui donne, quelquefois, le nom de *fer à cheval.* Il faut rompre de suite ce dernier, et corriger aussitôt la charge qui l'a produit.

On brise facilement le nez de laitier; celui de fonte est plus dur, il exige plus de soins; quelquefois on est obligé de l'attaquer avec du cuivre ou des minérais corrosifs pulvérisés; souvent même pour le détruire on charge, du côté de la tuyère, des minérais qui contiennent des pyrites cuivreuses; mais cette charge doit être faite modérément, dans des circonstances urgentes, et avec beaucoup de précaution, parce que ces sulfures fondues attaquent les parois de l'ouvrage.

467. En regardant les charbons embrasés qui sont un peu au-dessus de la tuyère et qui forment une espèce de voûte, on voit le minérai tomber en gouttes plus ou moins grosses; lorsque le fourneau n'éprouve aucun dérangement particulier, elles s'écoulent de tous côtés, dans une proportion à-peu-près égale; mais lorsqu'il se forme des engorgements, les gouttes cessent de couler là où le métal est arrêté, quelquefois même on voit celui-ci tomber par masse, lorsque les engorgements se détachent.

Selon que le minérai chargé est concassé ou pulvérisé, on distingue deux effets différents : lorsque le fourneau a une marche uniforme, et que le minérai est pulvérisé, on voit couler, devant la tuyère, des gouttes de fonte de couleur rouge éclatant ou sombre; si les gouttes sont d'un rouge-blanc éclatant, le fourneau est trop échauffé, on peut augmenter le minérai; si les gouttes sont d'un rouge-sombre obscur, et même noir, le fourneau ne chauffe pas assez, il faut diminuer le minérai. Pour qu'un fourneau chauffe bien, il faut un mélange à-peu-près égal de gouttes d'un rouge vif et de gouttes d'un rouge-sombre.

Si le minérai chargé est en fragments plus ou moins gros, il produit ordinairement des gouttes d'un rouge vif et sombre (1).

C'est particulièrement sur la couleur totale de la combustion et sur les changements qu'on y observe, que l'on juge de l'allure du fourneau. Lorsque la couleur du feu est rouge-sombre, il y a trop de minérai; rouge vif, pas assez : dans un bon fondage, la couleur doit être rouge-clair.

468. La *flamme*, produite par la combustion, peut être observée en plusieurs endroits, principalement au-dessus du gueulard ou à l'ouverture de la tympe. Immédiatement après la charge, il s'élève de la fumée au-dessus du gueulard, parce que le charbon n'est pas encore échauffé : elle s'allume, et la flamme se présente sous la forme d'un prisme; sa couleur est un peu brune, elle grandit, s'élève, s'éclaircit, devient conique à mesure que le charbon s'échauffe, et bientôt elle prend une forme et une couleur qu'elle conserve, jusqu'à ce que l'on fasse une nouvelle charge.

Si le fourneau a une marche uniforme, la flamme a une forme constante; si la marche varie, la forme et la couleur de la flamme éprouvent aussi des variations.

Si les charges descendent également de tous côtés, si le fourneau n'éprouve pas d'engorgement, la flamme sort du milieu du gueulard, elle s'élève verticalement; si la charge penche en descendant, ou si le fourneau s'engorge d'un côté, la flamme se porte du côté où l'air éprouve moins de difficultés à sortir.

---

(1) Les différences dans les couleurs que présentent les gouttes de fonte qui tombent dans le creuset, peuvent être occasionnées, ou par la température du fourneau, ou par l'épaisseur de la couche de laitier qui environne la fonte. Plus la température est élevée, plus les gouttes doivent être rouges; plus la couche des scories qui environne la fonte est épaisse, plus les gouttes doivent être sombres. Lorsque la fonte est pure et dégagée d'enveloppe terreuse, elle brûle en passant devant la tuyère. Les gouttes alors sont d'un rouge vif et blanc, elles lancent même des étincelles brillantes; il faut donc bien distinguer, en observant la couleur des gouttes, quelle est la cause qui l'a produite, afin d'y ajouter le correctif convenable.

On peut s'assurer de celle des deux causes qui fait dévier la flamme, en examinant la coulée des gouttes de fonte devant la tuyère et la forme que prend la charge près du gueulard, lorsqu'elle est descendue; si la charge s'incline, la partie supérieure penche en descendant.

La flamme est vive, sa couleur est d'un vert-bleuâtre, elle est remplie d'étincelles brillantes, elle s'élève très-haut, sa forme est celle d'une spirale terminée en pointe aiguë, lorsque la température du fourneau est trop grande, qu'il se brûle du fer, que le charbon contient trop peu de minérai, il faut alors lui en ajouter. Si la flamme est moins vive, que sa couleur soit jaune, qu'elle soit élevée, que sa forme soit celle d'un cône tronqué, mais avec une large troncature; que la fumée détruise une partie de la flamme lorsque l'on charge, qu'elle soit un peu de temps avant de reparaître, le fourneau ne chauffe pas assez, la charge de minérai est trop grande, il faut la diminuer. Le signe d'un bon fondage est une flamme belle, moyennement vive, d'un jaune-verdâtre, assez élevée et en forme de cône terminé : il est bon même qu'elle laisse apercevoir quelques étincelles. On peut, dans ce cas, continuer la charge de minérai.

Quant à la flamme qui sort par la tympe, elle s'étend de même plus ou moins en longueur; elle présente également des couleurs et des éclats différents; si elle est très-vive et d'un vert-bleuâtre, le fourneau chauffe trop; lorsqu'elle est d'un rouge-sombre, peu éclatant, il ne chauffe pas assez : on reconnaît que le fourneau chauffe bien, lorsque la flamme est d'un rouge-bleuâtre clair.

469. On appelle *bruissement*, le son, le bruit occasionné par le mouvement de l'air dans le fourneau. Lorsque le travail est inégal, qu'il se forme des masses dans l'intérieur, particulièrement sur les étalages; que ces masses se fondent, se détachent et qu'elles coulent dans le creuset, le bruissement est inégal comme le travail : tantôt il est fort, tantôt il est faible, et cela suivant que l'air éprouve plus ou moins de difficulté pour pénétrer à travers la masse de charbon et de minérai, pour s'élever dans le fourneau; si le travail marche uniformément, le bruissement est égal et uniforme.

470. Quoique chacun des cinq caractères, à l'aide desquels les fondeurs jugent de la marche intérieure du fourneau, puissent, lorsqu'ils sont observés isolément, conduire à déterminer si l'on doit augmenter ou diminuer la charge du minérai; comme il peut arriver, dans plusieurs circonstances, que quelques-uns de ces indices présentent des conséquences qui s'écartent plus ou moins de ceux que l'on peut et que l'on doit en déduire, il est de la sagesse et de la prudence des personnes chargées de la direction du travail des hauts fournaux, de réunir toujours les cinq indications ensemble, lorsque cela est possible, avant de déterminer les variations que l'on doit faire éprouver à la charge; et c'est en faisant concourir ces cinq caractères, que l'on conduira, avec succès, le travail d'un haut fourneau jusqu'à sa *mise hors*.

ACCIDENTS, REPOS ET MISE HORS DES HAUTS FOURNEAUX.

471. Le travail d'un haut fourneau peut être interrompu par différents accidents qui obligent de l'arrêter, ou de le suspendre pendant quelque temps, quelquefois même de le cesser entièrement et de *mettre hors*. Ces accidents, les causes qui les produisent, les corrections qu'ils nécessitent, les résultats où ils conduisent, nous déterminent à diviser cette section en trois parties : 1° des accidents et des corrections qu'ils exigent; 2° de la suspension du travail pendant quelque temps; 3° de la cessation absolue du travail ou de la *mise hors*.

Des accidents qui arrivent pendant le fondage.

472. Ces accidents peuvent avoir des causes différentes; ils sont en très-grand nombre; cependant, parmi tous ceux qui existent, nous n'en distinguerons que sept principaux : 1° la fusion des parois, 2° l'engorgement intérieur du fourneau, 3° la descente inégale des charges, 4° la difficulté de déboucher la coulée, 5° le gonflement du laitier dans le creuset, 6° l'engorgement du creuset, 7° la fusion du creuset. Ces accidents sont produits : 1° par la négligence des ouvriers, 2° par la méchanceté de quelques-uns, 3° par le desir de faire obtenir une plus grande quantité de fonte, 4° par des circonstances particulières et qu'il

est difficile de prévoir, telles que les différences dans les qualités du combustible, les variations dans la fusibilité des minérais, les infiltrations d'humidité, etc. Le garde-feu doit étudier avec soin la marche du fourneau; il doit surveiller scrupuleusement ses ouvriers, afin de prévoir, d'avance, les accidents qui peuvent arriver, et y porter de suite les remèdes qu'ils exigent.

473. La *fusion des parois* peut avoir lieu de deux manières, ou parce que les matières dont elles sont formées ont une fusibilité naturelle, ou parce que les minérais que l'on fond peuvent avoir une action sur elles, les attaquer et les détruire.

Quelquefois les mortiers, qui joignent les pierres des parois et de l'ouvrage, sont naturellement fusibles; ils se liquéfient et coulent lorsque l'on met le fourneau en feu; mais cette liquéfaction cesse ordinairement lorsque les mortiers sont fondus; elle continue si les pierres des parois sont également fusibles, et cette continuation peut devenir nuisible en ce qu'elle augmente la capacité du fourneau, et qu'elle le détruit à un tel point, qu'on est presque toujours forcé de *mettre hors*. Souvent il suffit de charger des fondants ou de la castine le long des parois : les terres fondues les couvrent et les enduisent d'un verre terreux qui suspend et arrête même leur fusion.

Les mines chaudes, sulfureuses, corrosives, attaquent les parois et les fondent. On préserve les pierres de leur action en chargeant ces sortes de minérais au milieu des charbons, afin que ce combustible forme une espèce de rempart qui garantisse les parois, souvent aussi on les mêle avec des minérais réfractaires qui détruisent, par leur action, les effets corrosifs des premiers. Lorsque la corrosion n'est exercée que d'un côté, c'est vers celui-ci, seulement, que l'on charge les minérais réfractaires. C'est ordinairement du côté de la tuyère que la corrosion est la plus forte.

Dans les cas ordinaires, ces remèdes suffisent; mais si les pierres sont trop fusibles, ou que les minérais soient trop corrosifs, il faut arrêter le fourneau et *mettre hors*.

474. L'*engorgement intérieur* du fourneau peut avoir plusieurs causes:

1° les minérais peuvent se coller sur les parois, ou être arrêtés sur les étalages, si le fourneau n'a pas une température assez élevée, et que la charge du minérai soit trop considérable; 2° la fonte qui descend trop lentement dans un fourneau peu échauffé, peut, en descendant, se raffiner, se figer contre les parois, et être retenue sur les étalages.

Ces défauts arrivent souvent lorsque l'on charge des minérais trop réfractaires ou trop riches, et surtout s'ils ont été pulvérisés; lorsque les étalages sont trop inclinés, et enfin si, au commencement d'un fondage, on charge des minérais contre les parois, avant que ceux-ci ne soient assez échauffés. Si le garde aperçoit le mal au moment où il commence, il peut y remédier, en ajoutant des fondants à la charge, ou en mêlant des minérais très-fusibles avec ceux qui sont réfractaires; en concassant ou en ajoutant des fondants ou des minérais pauvres à ceux qui sont trop riches; en inclinant la tuyère par en haut, lorsque les minérais sont riches, et en augmentant la quantité d'air lancée dans le fourneau, afin de faire descendre la charge plus promptement; enfin, en diminuant la charge du minérai, si elle est trop forte.

Lorsque l'engorgement est trop avancé, et que ces remèdes n'agissent pas assez promptement, ni assez efficacement, il faut suspendre un moment le travail, boucher la tympe et la tuyère, et arrêter les machines soufflantes. Souvent quelques instants de suspension suffisent pour faire détacher les premières masses.

S'il reste encore, après cette première opération, des matières figées dans l'intérieur du fourneau, il faut alternativement faire mouvoir et arrêter les machines soufflantes.

On peut détruire l'engorgement par ce moyen, qui est très-simple, lorsqu'il y a peu de temps que les matières se sont figées, et lorsqu'elles ne sont pas en grande quantité; mais aussi on trouve des engorgements qui résistent à ce moyen, et qui obligent d'arrêter le travail et de *mettre hors*.

475. La *descente des charges* peut être trop prompte, trop lente, inégale ou inclinée.

Ordinairement la descente est trop prompte lorsque le charbon est trop

léger et trop faible; que la quantité d'air, produite par les machines soufflantes, est trop considérable; que la bouche ou l'œil de la tuyère est trop large; enfin, que la tuyère est trop inclinée par le haut.

De même, la descente est trop lente lorsque le charbon est trop fort; que la quantité d'air, produite par les machines soufflantes, est trop petite; que l'œil de la tuyère a trop peu d'ouverture, et que la tuyère elle-même est trop inclinée par le bas.

La descente est inégale lorsqu'il se forme des engorgements dans l'intérieur, et que les matières accumulées se brisent, se séparent entièrement ou partiellement, et tombent dans le creuset.

Enfin, la charge penche, s'incline en descendant : 1° parce que des pierres saillantes ou des masses figées, accumulées le long des parois, arrêtent et suspendent la charge; 2° parce qu'il s'est formé des creux dans les parois qui se sont fondus inégalement; 3° par la direction des parois de la cuve du fourneau. On distingue cette inclinaison et le côté vers lequel penche la charge, par la situation qu'elle prend dans le gueulard lorsqu'elle est descendue, et par la distribution inégale des matières qui coulent devant la tuyère. On remédie au premier inconvénient, en détruisant les engorgements et leurs causes, et aux deuxième et troisième, en dévoyant la charge ou en l'accumulant du côté où elle s'incline.

476. *La difficulté de déboucher la coulée* se présente dans trois circonstances différentes : 1° lorsque les fondeurs n'ont pas assez bien nettoyé le trou de la coulée avant de le boucher, qu'ils y ont laissé du laitier ou du fer, ce qui fait fondre ou durcir le tampon; 2° lorsque la coulée est restée trop long-temps bouchée, défaut qui arrive assez ordinairement dans les fourneaux où l'on coule à la poche; 3° lorsque la fonte se fige contre le tampon, soit qu'elle se raffine, ou que les canaux d'évaporation étant fermés, l'humidité soit obligée de remonter jusqu'au creuset, et d'y figer la fonte.

On remédie au mal aussitôt que la cause en est connue, en y portant le remède qu'il exige. On attaque le tampon, soit en frappant à coup de masse sur le ringard que l'on y fixe, soit en jetant sur les laitiers ou sur la fonte figée, de la poussière de minérai corrosif.

neau, il faut alors rendre le minérai lentement et successivement, jusqu'à ce que sa marche ordinaire soit rétablie. Ces circonstances, quoique rares, se présentent cependant quelquefois; il faut savoir en faire usage, et même ne pas hésiter, si elles sont nécessaires.

De la suspension du travail.

480. Indépendamment des accidents que l'on vient de décrire, et qui obligent quelquefois d'arrêter instantanément le travail pour détruire la cause du mal et reprendre ensuite la fusion avec plus d'avantage et de succès, il en est d'autres qui exigent que l'on suspende le fondage pendant quelques heures, quelques jours, et quelquefois même pendant quelques semaines. Parmi ces causes, on peut placer des accidents arrivés aux machines soufflantes et qui exigent une prompte réparation; une crue d'eau, qui inonde, pendant quelque temps, les artifices de ces machines; une trop grande sécheresse qui diminue la masse d'eau nécessaire pour les faire mouvoir, et qui oblige de laisser remplir les étangs ou les réservoirs qui les fournissent; une gelée momentanée qui arrête le cours d'eau; le manque de minérai ou de combustible; enfin, toutes les causes qui sont susceptibles de n'exister que pendant très-peu de temps et auxquelles on peut remédier avec des soins au bout d'un temps plus ou moins court.

Plusieurs maîtres de forge, dans le Val-d'Aost, en Piémont, sont dans l'usage d'acheter, des particuliers, et par partie, les charbons qui leur sont nécessaires; lorsqu'ils se sont assurés d'une forte provision, ils mettent en feu, dans l'espérance qu'ils se procureront, pendant leur travail, celui qui leur manque. Souvent, par leur défaut de prévoyance, le charbon n'arrivant pas, ils suspendent leurs travaux jusqu'à ce qu'ils s'en soient procuré de nouveau.

481. Si la cause qui oblige d'arrêter le travail doit durer quelques heures, on coule la fonte, on nettoie le creuset, on retire les buses, on bouche la tuyère, on tire du charbon dans l'avant-foyer, on le couvre de poussière, que l'on recouvre elle-même d'une couche de sable de

plusieurs pouces d'épaisseur. Lorsque la cause cesse d'exister, on débouche la tympe, on sort le sable; on enlève la *sorne* (1), on brise, avec des ringards, le laitier dur qui s'est solidifié; on débouche la tympe, on remet la buse, on donne le vent. Le fourneau s'échauffe, la fonte et le laitier coulent et s'accumulent dans le creuset. Comme celui-ci a été un peu refroidi par le repos, il faut y veiller avec plus de soin et le nettoyer avec plus de précaution.

En Suède, où les charges de charbon sont considérables et se succèdent quelquefois de deux heures en deux heures, si l'on attend qu'une charge soit passée avant d'arrêter le fourneau, on peut laisser la tuyère et la tympe ouvertes pendant le court espace de temps que dure la suspension du travail. L'air qui entre par ces deux ouvertures entretient la combustion; le fourneau étant plus chaud présente moins de dangers à la reprise du travail.

482. Si la cause qui oblige de suspendre devait durer plusieurs jours ou plusieurs semaines, on serait obligé de se préparer d'avance à cette suspension, en supprimant la charge du minérai.

Dès que l'on est décidé à suspendre la fusion, on doit cesser de charger avec du minérai; et lorsque toutes les charges contenues dans le fourneau sont descendues, que celui-ci ne contient plus que du charbon, on retire la buse, on coule la fonte, on nettoie le creuset, on bouche la tuyère avec un tampon d'argile, on nettoie la dame, quelquefois on la sort pour enlever toutes les matières qui auraient pu s'y attacher; on la repose ensuite, on bouche la tympe, on remplit le gueulard, que l'on bouche avec des plaques de fonte, en y laissant cependant quelques vides, à cause de la trop grande chaleur. On abandonne ainsi le fourneau pendant tout le temps que le travail reste suspendu, avec la précaution de l'entretenir de charbon, afin de fournir à la petite consommation qui a lieu pour conserver la température. Pour cela, on sonde de temps à autre avec la *bécasse,* au moins une fois par jour, et l'on

(1) Masse de laitier refroidie; scories contenant du fraisil, des charbons et souvent des grumaux de fer.

remet du charbon toutes les fois que l'espace vide peut en contenir une charge : souvent on laisse aux plaques de fer, qui bouchent la tympe, une ouverture que l'on ferme avec un tampon, et que l'on ôte de temps à autre pour faciliter l'entrée d'une petite quantité d'air.

Aussitôt que les circonstances qui avaient forcé de suspendre le travail permettent de le reprendre, on ouvre le gueulard et la tympe, on charge un peu de minérai sur le premier charbon, on débouche la tuyère, on remet la buse, et selon la température que le fourneau a conservée, on fait aller de suite les soufflets lorsque l'on débouche, ou seulement lorsque le minérai est prêt d'arriver. On augmente la proportion de minérai à chaque charge. En général, pour faire aller un fourneau dont on a suspendu le travail, on se comporte, à son égard, à peu près de la même manière que pour la mise en feu, avec cette différence, cependant, que l'on peut donner plus de vent et charger davantage en minérai, et par conséquent mettre moins de temps pour arriver à un travail uniforme.

483. Lorsque le travail d'un fourneau doit être suspendu pendant long-temps, il est souvent plus avantageux de *mettre hors*, et d'allumer ensuite au moment où l'on veut faire aller; souvent aussi il est plus avantageux de maintenir le fourneau en feu, lors même que le travail doit être suspendu pendant quelques mois. Les fourneaux dont la chemise est en pierre calcaire sont dans ce cas; en les éteignant, l'air humide qui pénètre dans le fourneau, se combine avec la pierre et fait tomber les parois en poussière. Il faut donc, chaque fois que l'on éteint, refaire tout l'intérieur du fourneau. En entretenant le feu avec du combustible embrasé, on évite ce nouveau travail. Ainsi, c'est dans cette circonstance un simple calcul d'économie qui doit déterminer le maître de forge, et dans ce calcul on doit faire entrer, comme élément nécessaire, l'état du fourneau et le nombre de fondages qu'il est encore en état de supporter.

De la mise hors.

484. Toutes les fois qu'il est possible de remédier aux divers accidents auxquels les fourneaux sont exposés, et que l'on peut rétablir leur allure

ordinaire, on continue le travail; mais lorsque, par la négligence du fondeur, ou parce que les accidents n'ont pas pu être prévus, le mal est parvenu à un état tel qu'il ne peut plus être détruit, alors il faut *mettre hors*.

En mettant un fourneau en feu, le propriétaire se propose de continuer le fondage pendant un temps qui dépend, 1° de la fonte qu'il veut obtenir; 2° des provisions de charbon et de minérai qu'il peut se procurer; 3° de l'eau dont il peut disposer; 4° de l'altération des pierres avec lesquelles on construit les parois intérieures. D'après ces données, on fait d'abord les provisions que la durée du fondage et la consommation du fourneau exigent; lorsqu'il n'arrive pas d'accidents et que les provisions sont épuisées, il faut *mettre hors* : on profite de cette interruption du travail du fourneau pour raccommoder son intérieur, pour y faire les réparations qu'il exige, et le disposer à un nouveau *fondage*. La durée d'un *fondage* ordinaire est de dix mois; mais il varie dans chaque endroit, dans chaque pays, entre deux et quinze mois : il est rare qu'un fourneau résiste plus long-temps.

485. En arrêtant un fourneau, il faut avoir soin de ne pas le refroidir avec trop de précipitation, parce que le retrait trop inégal, produit par le prompt refroidissement, pourrait occasionner des déplacements de masses préjudiciables à la solidité du fourneau; il faut donc, lors de la *mise hors*, autant de soins pour diminuer progressivement la température, que l'on en a mis pour l'augmenter en l'échauffant.

On obtient cette progression de deux manières : 1° en diminuant la charge du minérai; 2° en diminuant le vent des machines soufflantes. Si l'on diminuait seulement la charge du minérai, on augmenterait la température du fourneau; si l'on diminuait seulement le vent des soufflets, on diminuerait la température au point de ne pouvoir fondre le minérai chargé, et d'engorger l'intérieur : en diminuant l'un et l'autre, on continue à fondre du minérai jusqu'à la dernière charge, en même temps que l'on fait décroître la température du fourneau.

486. La diminution dans les charges varient avec la quantité de charbon et de minérai qui les composent. En Suède, où la charge est

souvent de 20 *baches* de minérai, dont le poids total est de 10 à 12 quintaux, on divise cette progression en douze charges, de manière que la dernière soit de 4 baches, c'est-à-dire, $\frac{1}{5}$ de la charge totale ou de 2 quintaux environ. La diminution successive des charges dure communément de douze à vingt-quatre heures : on peut, dans chaque fourneau, suivre une progression analogue à celle de Suède, c'est-à-dire, proportionner la charge de manière que dix-huit heures après le moment où cette diminution commence on ne mette plus que le $\frac{1}{5}$ de la charge ordinaire.

Il est bon de séparer la fonte provenant de ces dernières charges diminuées, de celles que l'on obtient du fourneau lorsqu'il va bien. Pour cela, il faut couler la fonte qui est dans le creuset au moment où la première charge diminuée y arrive, seule et sans mélange. On continue à donner la quantité ordinaire de vent pendant trois à six heures après que la première charge du minérai diminuée est descendue, après quoi on en donne moins; cette durée dépend de la progression que l'on suit dans la charge du minérai. Tant que les premières charges n'ont pas diminué d'une quantité sensible, on peut continuer à donner le même vent; mais dès que l'on a commencé à en donner moins, il faut continuer progressivement cette diminution, de manière à ne faire arriver dans le fourneau que la $\frac{1}{6}$ ou la $\frac{1}{8}$ partie de l'air ordinaire, au moment où la dernière charge de minérai passe.

487. Après avoir mis la dernière conche de minérai, et lorsqu'elle est assez descendue dans le fourneau, on charge par-dessus 6 à 10 p^ces cubes de charbon pur. Alors le fourneau se vide peu à peu et laisse un grand espace sans charbon ; il s'élève au-dessus du combustible une flamme qui remplit toute la capacité du vide; cette flamme attaque les parois déja échauffées, quelquefois même les fait fondre. Pour diminuer son action on jette, sur le charbon embrasé, du poussier qui arrête la flamme, l'empêche de s'élever et suspend son effet; mais comme la chaleur qui se dégage du combustible a bientôt vaincu l'action du poussier, la flamme paraît de nouveau et attaque encore les parois. C'est alors que le fondeur doit redoubler d'attention; qu'il doit alternativement sus-

pendre le mouvement des soufflets et le leur rendre, de manière à produire assez de chaleur pour fondre les dernières parties de minérai, et trop peu pour attaquer les parois. On peut toujours obtenir cette température moyenne avec des soins et de l'attention.

488. On divise ordinairement la coulée de la charge de minérai diminuée, en deux parties : la première se fait neuf heures après que la première charge est descendue, et la seconde, lorsque tout le minérai est dans le creuset.

Toute la fonte étant parvenue dans le creuset, et la dernière coulée étant faite, on nettoie l'ouvrage avec soin, et l'on s'occupe du refroidissement du fourneau. Le travail se termine alors par les quatre opérations suivantes, que nous avons copiées dans la traduction de Garney, faite par l'ingénieur en chef Daubuisson (1).

« 1° Aussitôt que la fonte est sortie du creuset, on débouche le trou de la tuyère, afin de pouvoir plus commodément travailler dans le fourneau; on remet ensuite les soufflets en mouvement, et on les fait jouer pendant trois ou quatre jours, pour que l'air froid qu'ils lancent fasse refroidir le fourneau, autrement la chaleur se répandant au dehors, pourrait nuire à la charpente; d'ailleurs, sans cette précaution, le fourneau se refroidirait trop lentement.

« 2° On enlève la tympe et toute la muraille intérieure; on sort, avec des outils convenables, tout ce qui est resté au fond du creuset, de manière que la pierre du sol soit bien nette. Par ce moyen, on a plus de facilité, non-seulement pour enlever la fonte qui est encore dans le creuset, mais encore pour nettoyer l'ouvrage, sur-tout lorsqu'il peut encore servir pour un second fondage.

« 3° On sort, avec des crochets, tous les charbons qui restent dans le fourneau; on les éteint avec de l'eau, à leur sortie, et on nettoie bien la partie supérieure de l'ouvrage.

« 4° La tympe est enlevée ainsi que les pierres de l'avant-foyer, parce qu'elles ne peuvent jamais servir à un second fondage : on fait alors, sur

(1) Livre 2, chapitre 9, §. 11, lettre C.

le devant du fourneau, une grande ouverture pour procurer un accès plus facile à l'air et accélérer le refroidissement.

« Le travail du fondeur est alors entièrement terminé. Il faut cependant visiter encore le fourneau de temps en temps, et cela pendant deux ou trois semaines, afin de voir si quelques parties ne courent pas le risque de s'embraser. Au bout de ce temps, et même plutôt, dans les temps froids, le tout étant bien refroidi, il faut recouvrir le fourneau. »

489. La *mise hors* du fourneau est une opération à laquelle le fondeur doit apporter le plus grand soin; car, c'est de la manière d'être des parois, après le fondage, que l'on juge des soins et des attentions que le fondeur y a mis. Il est donc de son intérêt, qu'après le fondage, lorsque le fourneau est refroidi, les parois soient lisses, propres et dégagées de crasse, de laitier et de minérai mal fondu.

DES FONTES MOULÉES.

490. Aussitôt que les minérais de fer sont exposés à l'action du feu et du carbone, dans les hauts fourneaux, l'oxide de fer se réduit en laissant dégager son oxigène; il se fond, ainsi que les terres qui sont mélangées ou combinées avec lui : tombées dans le creuset, ces deux substances se séparent par leur pesanteur spécifique; les verres terreux, les laitiers (qui sont plus légers) surnagent; ils coulent hors des fourneaux; on les sort de la fonderie; ils sont mis au rebut s'ils ne retiennent pas des globules de fer en assez grande quantité pour mériter les frais de la pulvérisation et du lavage, à l'aide desquels on les sépare. La fonte pure, obtenue par cette opération, est employée, soit à mouler divers objets, soit à fabriquer du fer ou de l'acier. C'est de l'emploi du fer crû à l'état de fonte, et de la manière de la couler pour en obtenir des fontes moulées, que nous allons nous occuper dans cet article : nous le diviserons en quatre sections. Dans la première, nous ferons connaître les objets que l'on peut obtenir sous l'état de fonte moulée; dans la deuxième, la manière de préparer les différents moules

dans lesquels on doit couler la fonte; dans la troisième, le choix des fontes que l'on doit employer relativement à la nature des objets moulés que l'on veut obtenir, ainsi que les opérations que l'on fait subir aux fontes pour les liquéfier. On traitera, dans la quatrième section, des réparations que les fontes moulées doivent éprouver avant d'être livrées au commerce.

DES OBJETS QUE L'ON PEUT ET QUE L'ON DOIT OBTENIR A L'ÉTAT DE FONTE DE FER.

491. Le fer fondu est coulé en moule dans tous les pays où l'art de travailler ce métal a fait quelques progrès; les objets que l'on coule le plus généralement, sont ceux qui servent à préparer les aliments et que l'on connaît sous le nom de *poterie de fer* (1), ou simplement *poterie*, tels que les marmites, chaudières, etc. On coule des plaques, soit pour être placées dans les cheminées, soit pour construire des poêles, etc.; on coule des tuyaux pour la conduite des eaux, et beaucoup d'autres objets analogues.

Depuis l'invention de la poudre à canon, on fait usage de la fonte de fer pour couler des boulets, des grenades, des bombes, ainsi que tous les gros projectiles que lancent les pièces d'artillerie; enfin on est parvenu à couler les pièces mêmes, c'est-à-dire, les canons, les mortiers, etc.

Comme la fonte de fer est ordinairement très-fragile, qu'elle se travaille difficilement à la lime et au ciseau, on a été contraint, pendant long-temps, de ne jeter en moule que des objets assez grossiers pour ne pas exiger de réparation après avoir été coulés, assez épais et d'assez peu de valeur pour que la fragilité de la fonte ne soit pas un obstacle à leur usage; mais depuis que l'on a été à même d'observer que des

(1) Le nom de *poterie* n'est donné, dans le Dictionnaire de l'Académie française, qu'aux seuls vases de terre : on dit cependant poterie d'étain; pourquoi ne dirait-on pas *poterie de fer*?

variétés de fonte avaient assez de mollesse et de douceur pour être entamées par des instruments tranchants, qu'elles pouvaient être percées au foret, dressées à la lime, arrondies sur le tour, réparées au ciseau, enfin, qu'elles avaient en même temps assez de ductilité pour résister à des chocs considérables, le nombre et les formes des objets moulés ont beaucoup augmenté.

On emploie, dans la constructiou des machines, plusieurs pièces qui ne pourraient pas être fabriquées en bois, parce qu'elles se déjeteraient, se fendraient, et que les mouvements qu'elles auraient dû produire perdraient, par les variations qu'elles éprouveraient, la régularité qu'elles doivent avoir; telles sont les roues d'engrénage, etc., que l'on était en conséquence obligé de fabriquer en fer forgé, ou de couler en fonte de cuivre; aujourd'hui on les coule, avec beaucoup de succès, en fonte de fer douce, et on les obtient, par ce moyen, à un prix très-inférieur, qui permet de les employer dans un plus grand nombre de cas.

Si l'on en juge, d'après quelques fontes moulées, conservées et trouvées dans des débris de très-anciens édifices, d'après la petite statue d'Hercule, découverte dans les fouilles du palais de Borghèse, nous sommes portés à croire que les anciens connaissaient l'art de couler des objets précieux en fonte de fer, mais qu'il paraît s'être perdu lors de la chûte de l'empire romain; il a de nouveau été découvert et perfectionné en Europe, dans le milieu du siècle dernier. Aujourd'hui on coule en fonte de fer de belles et grandes statues dans la fonderie de Muekenberg, appartenant à M. le comte d'Ensiedel (1). On en coule aussi dans plusieurs autres usines. Cet art précieux a semblé vouloir renaître il y a quelques siècles; l'avantage qu'il présentait détermina quelques bons esprits à y diriger leurs réflexions et leurs recherches; il ne fallait qu'un moment favorable et un encouragement du Gouvernement pour déterminer ses progrès. Mais ce mouvement n'a pas eu de succès.

---

(1) Traité de la fabrication des ustensiles de fonte, par Guillaume-Albert Tiemann, §. 57.

On soupçonne que la ferrure des portes de Notre-Dame de Paris est en fonte : nous nous sommes assurés que les rampes du chœur de l'ancienne abbaye de Saint-Martin-des-Champs, à Paris, étaient en fonte moulée; elles sont conservées au Muséum des Arts. On voyait, du temps de Réaumur, dans le cabinet du Roi, à Versailles, un petit cheval de fer fondu que l'on plaçait au rang des objets rares, conservés dans le dix-septième siècle.

492. Depuis long-temps les fondeurs recouvraient quelques pièces de leurs fontes moulées de différents caractères; ils y mettaient des légendes et des armoiries; ils les coulaient avec des ornements et des figures; mais tous ces reliefs étaient grossiers : on a voulu en obtenir de plus délicats; on a fait des essais et on est parvenu, en Silésie, depuis trente à quarante ans, à couler des médailles de fonte d'une grande perfection; on en coule de très-belles et de très-pures à Walkenriedschen, dans le Blanckenbourg, au Hartz, à Mallapane, en Silésie, etc. (1). On prétend même avoir remarqué, en lisant de vieux manuscrits, que la fonte des médailles était très-anciennement connue dans les usines de Saxe (2). L'inspecteur-général des mines, Gillet-Laumont, fit couler, à Paris, en 1804, deux médailles en fonte, qu'il présenta à la Société d'Encouragement. M. de Launay, qui a dirigé la coulée des fontes des ponts de fer construits à Paris, a offert, à la même société, des fragments d'un bas-relief en fonte de fer, dans le genre égyptien, qu'il avait moulés avec beaucoup de netteté. Nous avons, depuis, fait couler, à Paris et à Lyon, des petits objets, des médailles de fonte de fer, dont l'empreinte était aussi nette et aussi parfaite que celles de Saxe et de Prusse.

493. Le célèbre Réaumur a publié, dans son beau travail de l'art d'adoucir le fer fondu, les moyens de couler les ornements délicats (3);

---

(1) Tiemann, §. 75.

(2) Tiemann, *idem*.

(3) Ce savant avait déja communiqué à l'Académie des Sciences, dans son assemblée publique du mois de novembre 1721, les premiers résultats de ce travail utile et intéressant.

il cite, pour exemple, les résultats qu'il a obtenus sur des marteaux de porte cochère, des clefs et un grand nombre d'objets précieux par le fini du travail.

On fait journellement usage de divers objets en fer qui, pouvant être employés indifféremment en fonte ou en fer forgé, présenteraient une grande économie, si l'on ne les fabriquait que sous l'état de fer fondu; l'usage de ces objets en fonte coulée a été proposé par Réaumur; il a fait plus, il les a moulés, fondus et coulés avec un grand succès; il a même donné l'exemple de leur emploi, mais cet exemple, loué par les uns, blâmé par les autres, n'a pas été imité; l'emploi du fer forgé a obtenu constamment la préférence, et les Français ont négligé, par leur insouciance et leur attachement à leurs vieux principes, d'adopter des perfectionnements utiles, et d'obtenir, par cette adoption, une économie considérable de combustibles et de main-d'œuvre; ils ont préféré d'employer les mêmes objets, fabriqués par leur ancienne méthode, et par un travail plus long et avec une plus grande consommation de charbon et de fer, et cela pour obtenir des résultats moins beaux et moins parfaits.

Les Anglais, prompts à s'emparer des inventions et des perfectionnements que les Français font dans les arts, à les appliquer à leurs besoins et à les répandre par la voie du commerce, se sont empressés, aussitôt qu'ils en ont eu connaissance, d'adopter l'emploi et l'usage de de la fonte coulée, en remplacement du fer forgé, proposé et exécuté auparavant par Réaumur; ils ont construit des usines grandes et vastes, et ils y ont coulé, en fonte noire, douce et limable, tous les objets qui étaient susceptibles d'être employés en fer fondu.

C'est ainsi qu'en Angleterre, la plus grande partie des grilles de fer, des portes grillées, des balcons, des rampes d'escaliers, sont depuis long-temps exccutés en fonte moulée.

Depuis les nombreux essais de Réaumur, cet art a éprouvé de grands perfectionnements. On a coulé des gardes d'épée, des boucles dites d'acier, des chapes, des ardillons, des clefs, des fermetures de toute

espèce, des fiches, des charnières, des clous (1), des boutons, et une foule de petits objets qui peuvent et qui doivent être polis; quelques personnes ont même poussé cet art jusqu'à couler de la taillanderie et de la coutellerie (2).

Il existe, au Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, à Paris, plusieurs outils de taillanderie, de menuiserie, de serrurerie, tels que haches, ciseaux, becs-d'âne, tas, étaux, gros ciseaux à découper, forces, etc., fondus et coulés en fer crû, dans une forge des Ardennes, par le fondeur d'Avenne.

Nous avons vu à Lyon, chez le fondeur Dubois, des clous assez doux pour pouvoir suppléer à ceux de fer cassant à froid que l'on destine à divers usages. Le fondeur Dufrel fond et coule des médailles, des ornements, des clous, des peignes et des démêloirs.

Nous avons invité le fondeur Dubois et les Frerejean, de Lyon, à fondre et à couler des cuillers, des fourchettes, des couteaux, des ciseaux, des rasoirs, etc. Ces objets ont très-bien réussi; nous les avons fait monter et polir sur la meule : ils pourraient remplacer dans ce moment, avec beaucoup de succès, les mêmes objets obtenus des coutelleries les plus estimées.

On voit, d'après ce court résumé de l'état où l'art de traiter la fonte moulée est parvenu en Europe, qu'un grand nombre d'objets que l'on a versés dans le commerce, et que l'on a employés jusqu'à présent sous l'état de fer forgé, d'acier forgé, etc., peuvent être obtenus et employés sous l'état de fonte moulée (3).

(1) Rapport de Gillet-Laumont à la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale. Paris, 11 mai 1807.

(2) Plusieurs de ces objets doivent être coulés en acier fondu, particulièrement la coutellerie, les gardes d'épée, et toutes les pièces qui doivent supporter un beau poli. Nous ferons connaître, en traitant de l'acier, quelle préparation particulière le fer doit éprouver pour être coulé en acier fondu.

(3) La Société établie à Paris pour l'encouragement des arts et métiers, est tellement convaincue de cette vérité et de la nécessité d'encourager ce genre d'industrie, qu'elle a

494. La fonte peut être coulée directement des hauts fourneaux dans les moules; souvent, on la fond une seconde fois avant de la mouler; le déchet de la fonte dans ce travail, les jets qui en proviennent, etc., peuvent être employés, soit à la fabrication du fer ou de l'acier, soit à couler d'autres objets.

Pour obtenir de la fonte dans les hauts fourneaux, on consume entre 1 et 4 parties pondérables de combustible pour une de fonte; la moyenne est 1,5; la quantité de combustible employée pour refondre la gueuse, varie entre 0,4 et 1 partie de combustible pour une de fonte; la moyenne 0,7; on consume donc entre 1,4 et 5 parties de combustible pour en obtenir une de fonte moulée; la moyenne est de 2,2.

Le fer obtenu dans les bas fourneaux, par la méthode à la Catalane, brûle entre 3 et 4 parties de charbon pour une de fer; la moyenne de 3,5; le fer obtenu par les doubles opérations de la fusion au haut fourneau et de l'affinage, consume 5 à 9 parties de charbon pour une de fer; la moyenne 7.

Il suit de ce rapport sur la consommation du charbon, pour obtenir les mêmes objets en fer forgé, ou en fonte moulée, que la différence dans la consommation du charbon est de 3 à 1; conséquemment, si le fer forgé était employé tel qu'il sort des forges, sans autre travail particulier, on brûlerait ou consumerait trois fois plus de charbon, en en faisant usage sous l'état de fer forgé, que sous celui de fonte moulée.

Mais la perte du fer et la main-d'œuvre dans ces deux opérations, augmentent encore de beaucoup la différence dans la valeur des matières.

La construction du moule, la réparation des objets coulés, n'exigent

établi un prix de 6000 francs en faveur des fabriques ou des artistes qui livreraient au commerce pour une valeur de 10,000 francs, des petits objets fondus que l'on fabrique aujourd'hui en fer forgé. Déja plusieurs fondeurs lui ont envoyé des échantillons d'objets coulés en fonte de fer, dont elle a eu lieu d'être satisfaite; mais elle n'a pu encore accorder le prix qu'elle a proposé, parce que l'une des conditions n'a pas été remplie, celle d'avoir versé dans le commerce pour une valeur de 10,000 francs de ces objets coulés en fonte de fer.

pas une dépense considérable : on peut, en portant cette valeur au plus haut prix, la supposer égale à celle du travail du fer dans la forge. Dans cette supposition, qui est désavantageuse pour la fonte moulée, il y a toute l'économie du charbon et du fer brûlé que le travail du fer exige.

Le fer forgé est rarement employé comme il sort des forges ; les ouvriers en fer sont obligés de lui faire subir un nouveau travail. Pour en former, pour en construire les différents objets que l'on veut approprier aux usages auxquels on les destine, il faut forger le fer, le couper, le limer, l'ajuster. Ce travail nécessite des dépenses de combustible, de fer et de main-d'œuvre dont la valeur est d'autant plus grande, que les objets exigent un travail plus soigné. Réaumur, en comparant la valeur de quelques objets fabriqués en fer forgé, par les serruriers, et en fonte moulées, dans ses ateliers, a trouvé que des marteaux de porte cochère coûtant 700 livres en fer forgé, pouvaient être versés dans le commerce à 35 livres en fer coulé (1), ainsi à un vingtième du prix du fer. L'inspecteur-général des mines, Gillet-Laumont, annonce, dans le rapport qu'il a fait à la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, qu'un concurrent pour le prix proposé, en l'an XIII, par la Société, avait présenté des roues à double engrénage, chacune de 330 millimètres de diamètre, et de 132 dents sur chaque engrénage, qui pouvaient être livrées au prix de 25 francs les 50 kilogrammes.

De toutes ces considérations, il résulte qu'il est de l'intérêt du Gouvernement d'encourager la fabrication, en fonte moulée, de tous les objets travaillés aujourd'hui en fer forgé, et qui peuvent être employés indistinctement de l'une et de l'autre manières, parce qu'il se produirait, sur ces objets, une économie dans le combustible de près de 3 parties sur 4, et qu'il est également de l'intérêt du consommateur de faire fabriquer, en fonte moulée, tous les objets en fer qui peuvent être employés indistinctement sous l'état de fer fondu ou de fer forgé, puis-

---

(1) Art d'adoucir le fer fondu, 5[e] mémoire.

que l'économie, dans la dépense, peut aller des $\frac{3}{4}$ au $\frac{19}{20}$, c'est-à-dire, qu'ils ne paieront des objets en fonte coulée que du quart au vingtième du prix qu'ils les auraient payés en fer forgé.

495. Quant à l'espèce, la forme et la quantité de ces objets, elles sont considérables, et il serait difficile d'en faire l'énumération. Nous nous contenterons donc de présenter ici l'état que le savant Réaumur en a donné dans son Art d'adoucir le fer fondu (1).

Les batteries de cuisine, les chaudrons, les marmites, les poêles, les casseroles, les bassines, etc.

Les contre-cœurs de cheminée, les plaques, les caisses de poêle, les poêles eux-mêmes, quelle que soit leur forme; les tuyaux pour la conduite des eaux, les poids, les lestes pour la marine, les grilles, les balcons, les portes grillées, les rampes d'escaliers, les balustres, les chapitaux de colonnes, et les feux de cheminées.

Les marteaux des portes cochères, les boucles qui les supportent; la serrurerie, les platines des serrures, les targettes, les verroux, les clefs, les fiches, les charnières, et en général, toute serrurerie qui ne fatigue pas.

Les roues des diamantaires, celles à applatir les fils d'or et d'argent, les roues d'engrénage simple, double, d'engrénage à angle, etc.

Les vases à fleurs, les flambeaux et tous les ornements qui sont faits pour être exposés à la vue, et qui ne sont point fatigués; les boucles de souliers, de ceintures, les mors de brides, et tous les objets d'éperonnerie, les étuis, les clefs de montre, les crochets de montre.

Les gardes d'épée, les boucles à jarretière, et tous les petits objets qui doivent être polis; les platines de fusil, la plaque de couche, la pièce de la crosse, le porte-vis, le porte-baguette, la sous-gachette.

On peut réunir à cette longue liste, des clous, des bas-reliefs, des médailles, des statues, et généralement tous les objets qui ne supportent pas d'efforts plus grands que ceux auxquels la fonte peut résister (2).

---

(1) Troisième partie, 9[e] mémoire.

(2) Un grand nombre de ces objets se fabriquent déja dans plusieurs pays, et nous

DES MOULES DANS LESQUELS ON COULE LA FONTE.

496. On appelle *moule*, des creux, des espaces vides, auxquels on donne la forme, les dimensions, et les proportions, des objets que l'on veut obtenir, et dans lesquels on coule la fonte qui s'y solidifie. Dans les moules, toutes les parties pleines ou saillantes, tous les reliefs que doivent avoir les objets coulés, sont creux; tous les vides et les enfoncements sont remplis par la matière du moule. On divise les moules en quatre espèces, relativement à leur manière d'être et à la matière qui les compose : 1° *moule découvert;* 2° *moule en métal;* 3° *moule en terre;* 4° *moule en sable.* Après avoir traité de ces quatre sortes de moule, nous comparerons les avantages et les inconvénients que présentent ces quatre manières de mouler.

Des moules découverts.

497. Les *moules découverts* sont ceux dans lesquels on ne forme d'empreinte que sur l'une des faces de la pièce; l'autre, qui reste à découvert, prend une forme plane dont la position est horizontale. Ce sont des creux faits dans du sable, dans de la terre, ou dans toute autre matière facile à mouler, et dans lesquels on coule la fonte liquide; celle-ci, remplissant l'espace vide, prend la forme qu'on lui a donnée, et l'une de ses faces se moule sur le fond du creux, tandis que l'autre (celle qui est exposée à l'action de l'air) se refroidit rapidement et se crible de trous plus ou moins grands, plus ou moins considérables. Cette perforation est produite par l'extension inégale de la masse de fer, lorsqu'elle se solidifie.

---

venons de nous assurer, dans le dernier voyage que nous avons fait à Lyon, en 1810, que MM. Frerejean et Abraham Müller, fondaient avec succès, dans cette ville, des grilles plus ou moins ornées, des balcons, des rampes d'escaliers, etc.; et que ces objets pouvaient s'obtenir, avec une plus grande perfection, et à un prix beaucoup inférieur à celui que l'on donne pour de semblables objets en fer.

On coule ordinairement, dans des moules découverts, des plaques de fonte, des contre-cœurs de cheminée, des plaques de poêle, des marteaux de forge, des enclumes, des poids à peser, des lests pour la marine, et en général tous les objets qui ont une face droite qui peut, sans inconvénient, être recouverte d'aspérités et même contenir des cavités plus ou moins considérables, sans que ces défectuosités puissent influer sur la qualité et l'usage de la pièce obtenue.

Ces moules sont ordinairement creusés dans l'embrasure du devant du fourneau K, (planche 34). On les place près et vis-à-vis de la *tympe,* à une petite distance du trou du *chio,* c'est-à-dire, de l'ouverture de la percée, et cela afin que la fonte puisse être coulée directement du haut fourneau dans ces moules.

La surface du sol, sur laquelle on creuse les moules, doit être couverte d'une couche plus ou moins épaisse de bon sable à mouler; la profondeur de cette couche doit dépendre de la grosseur, de l'épaisseur des pièces que l'on se propose d'obtenir. Lorsque l'on ne veut couler que des plaques de poêle, ou des contre-cœurs de cheminée, quelques pouces de profondeur suffisent; mais si l'on veut couler des poids, des marteaux, des enclumes, il faut une épaisseur de sable plus considérable.

498. La terre, propre au moulage, est composée de silex et d'argile que l'on mêle souvent avec de la poussière de charbon. La proportion de ces trois substances doit être telle, que le composé puisse se diviser facilement, avoir assez de consistance pour prendre la forme qu'on veut lui donner, et conserver exactement les détails des reliefs que l'on y imprime. L'argile lui donne du liant, et le charbon interposé diminue la fusibilité des terres.

Selon que l'on veut obtenir des empreintes plus ou moins belles, le sable doit être plus ou moins fin : il faut le passer au tamis pour obtenir la finesse qui lui est nécessaire. Celui qui est de moyenne grosseur produit des moules plus solides; le retrait en est plus égal et moins considérable, la fonte réussit mieux, l'humidité s'en dégage plus facilement et occasionne moins de boursoufflure : on ne fait usage de sable

fin que dans le cas où le fini des reliefs l'exige absolument; et, dans cette circonstance, il est souvent préférable de faire le moule en sable moyen, et de couvrir le modèle, seulement, d'une légère couche de sable très-fin, parce qu'alors les parties fines et délicates des reliefs se moulent plus exactement.

Dans chaque pays, les fondeurs tirent leurs sables d'un lieu déterminé, et c'est toujours à l'expérience qu'ils doivent s'en rapporter, c'est par elle seule qu'ils peuvent connaître celui qui convient le mieux à l'objet auquel on le destine. Il serait impossible d'indiquer ici tous les endroits d'où l'on extrait le meilleur sable. S'il se trouve à la proximité des fonderies, des terres qui réunissent les qualités nécessaires à un bon moulage, on peut et l'on doit les employer de préférence à toute autre; mais si l'on ne pouvait en trouver à sa proximité, il faudrait composer de toutes pièces les terres dont on a besoin, c'est-à-dire, former un mélange convenable de sable siliceux sec, d'argile et de poussière de charbon.

499. Les outils dont on se sert pour la confection des moules sont: 1° une espèce de pioche A; 2° une pelle de fer B, pour diviser le sable; 3° un rabot C, pour l'étendre et l'unir; 4° un modèle en métal ou en bois D, recouvert des reliefs et conforme en tout à l'objet que l'on veut obtenir; 5° un marteau de bois ou maillet E, pour comprimer la terre du moule et pour enfoncer le modèle lui-même; 6° un niveau F, pour donner au-dessus du moule la position parfaitement horizontale qu'il doit avoir, afin que la fonte liquide, en s'étendant, conserve à la pièce, dans toute sa surface, l'épaisseur qui lui est nécessaire; 7° une espèce de couteau en bois G, en forme de coin, pour équarrir les vides et enlever les petites portions de terre tombées dans les creux ou restées sur le moule; 8° une petite planche H, pour unir les surfaces; 9° un sac de toile I, rempli de poussière de charbon, pour saupoudrer la surface du moule.

500. Après avoir divisé, avec la pelle et la pioche, le sable à mouler qui recouvre la surface du sol, après l'avoir *ameubli*, on l'humecte légèrement pour lui donner plus de liant; on l'unit simplement avec

le rabot, si c'est une plaque qu'on veut mouler; mais si c'est un objet de plusieurs centimètres d'épaisseur dont on veuille prendre l'empreinte, on creuse l'enfoncement dans lequel on doit placer le modèle, et alors on le pose sur le sable; on le presse en le comprimant, et on l'enfonce avec précaution, afin de maintenir la surface supérieure dans une position horizontale : on place même le niveau dessus le modèle, pour le fixer plus exactement. Quand il est dans une position convenable, que le sable est bien comprimé, on bat et refoule la terre, sur le côté, avec le maillet, afin de lui donner plus de solidité et de la rendre plus fixe. Lorsque l'on juge que les formes sont moulées bien exactement, on retire le modèle avec beaucoup de précaution, en le maintenant toujours dans une position verticale, afin de ne pas dégrader les empreintes délicates qui ont été formées; on creuse ensuite l'ouverture par laquelle la fonte doit entrer. Cette coulée doit être simple et à une seule ouverture dans les petites pièces L, et double ou à deux ouvertures dans les grandes pièces M.

501. Les pièces peuvent être coulées pleines, ou avoir des vides; on conserve ceux-ci, en remplissant, avec du sable, l'espace où ils doivent exister, ou en y fixant des noyaux de terre.

Quant aux ouvertures qui traversent les pièces, telles que les trous circulaires N des tuyaux; les trous carrés O, des plaques de poêle, des ouvertures de porte, des têtes de marteaux, on fixe pour cela, dans le creux du moule, le massif qui doit former le vide; mais si ces ouvertures doivent être recouvertes de fonte, ainsi qu'on l'observe dans les trous que l'on conserve dans les poids à peser P, afin de pouvoir, par la suite, couler le métal avec lequel on les ajuste, on peut employer deux méthodes : 1° si la fonte qui recouvre le vide de l'objet ne doit pas contenir d'empreintes, de caractères particuliers, on place, dans le creux du moule, le massif en terre qui doit conserver ce vide; mais dans le cas où il faudrait conserver des empreintes, comme on le pratique dans les poids à peser, où il faut à-la-fois conserver une ouverture Q pour placer l'anneau, et imprimer des caracteres qui indiquent la valeur et la nature du poids, le massif doit être fixé au-dessus du

moule, et y être maintenu par de fortes masses *a, a, a,* afin que la fonte liquide ne le soulève pas.

Ces sortes de noyaux N, O, s'ils sont cylindriques, se font ordinairement avec des anneaux, ou des cercles de bois ou de fer que l'on pose dans l'emplacement qu'ils doivent occuper; mais s'ils ont toute autre forme, on les construit avec des règles de bois, qui figurent le périmètre ou le contour de la surface extérieure des noyaux; ensuite on emplit, avec de la terre, le vide que laissent les anneaux ou les règles; l'on bat fortement cette terre avec le maillet, et lorsqu'elle a acquis assez de solidité, on retire les cercles ou les règles, et les moules sont terminés.

Quelques plaques, comme celles des poêles, doivent avoir des feuillures pour les placer les unes à côté des autres, les encadrer et les retenir plus facilement. On obtient ces feuillures en plaçant sur les bords du moule R, des règles *a, a,* de fer ou de terre sèche, qui remplissent exactement l'espace vide que les feuillures doivent avoir.

Plusieurs pièces, comme les poids à peser P, doivent avoir des anneaux ou des poignées de fer mobiles pour les suspendre; souvent même ces anneaux se placent lorsque les pièces sont fondues, et on les soude dans les trous qui ont été ménagés dans la masse de la fonte; d'autres fois aussi on les enchâsse de suite dans la fonte en la coulant. Pour cela, on enfonce et l'on recouvre de terre les masses qui doivent être séparées, et on laisse saillir celles qui doivent être prises par la fonte; celles-ci, en coulant, les environnent, se figent autour, et les retiennent enchâssées.

Les modèles étant retirés des moules, on sépare ordinairement ces derniers en retouchant les encoignures avec le couteau de bois; on unit les surfaces raboteuses avec la planche lisse; on raccommode les creux des reliefs déformés; enfin, on recouvre la terre d'une légère couche de poussière de charbon, en secouant le sac au-dessus du moule, et l'on y coule la fonte lorsqu'il est propre à la recevoir.

Des moules en métal.

502. Plusieurs métaux, tels que l'étain, le plomb, le zinc, les combinaisons de plomb et d'antimoine, qui se fondent à une faible température, se coulent dans des moules de bronze, de laiton, de fonte de fer, de fer forgé. Le laiton, qui se fond à une température plus élevée, se coule en plaques sur des pierres droites et polies; le fer crû, qui se fond encore à une plus haute température, se coule, dans quelques circonstances, dans des moules de fer ou de fonte de fer.

Toutes les fois qu'on ne se propose d'obtenir qu'une seule pièce, ou seulement quelques pièces d'une forme et d'une dimension données, le moule qui procure la fonte la plus exacte, avec le moins de dépense, est toujours celui que l'on doit préférer. Dans ce cas, il faut couler dans des moules de terre ou de sable; mais si l'objet doit être moulé un grand nombre de fois, il semble qu'il serait plus économique de couler dans des *moules de métal,* comme les potiers d'étain, les fondeurs de boulets de canon, ou dans des moules de pierre, comme les fondeurs de laiton.

Le célèbre Réaumur (1) a fondu avec succès des pièces délicates dans des moules de fer, et même de fonte de cuivre; mais toutes les pièces obtenues de cette manière (quoique venues avec assez de netteté), étaient tellement dures et cassantes, qu'il était impossible de les travailler. Ce résultat était facile à prévoir. Les moules de métal se refroidissant très-promptement, devaient faire solidifier la fonte avec une grande rapidité, et lui communiquer, en conséquence, la dureté et la fragilité qu'elle acquiert par la trempe; cet infatigable et laborieux savant fit chauffer les moules avant de couler, et les porta à une température beaucoup plus haute que celle que l'on donne aux moules de terre; la fonte en sortait toujours cassante et dure.

Ainsi, ces sortes de moules, précieux dans une foule de circonstances,

---

(1) Art d'adoucir le fer, 3ᵉ partie, 2ᵉ mémoire, §. 186.

ne peuvent être employés que dans les cas particuliers, où la fonte que l'on obtient peut être dure et cassante.

Il aurait été à desirer que les moules de métal, avant et après la coulée, eussent été placés dans des fourneaux échauffés ou dans un milieu dans lequel la température eût baissé très-lentement. Tous les faits connus jusqu'à présent font croire que, dans ce cas, il aurait été possible d'obtenir de la fonte douce et un peu ductile (1).

503. Il paraît que l'usage le plus général que l'on ait fait jusqu'à ce moment des moules de métal pour couler de la fonte de fer, a été de les employer à la fabrication des boulets de canon.

Les moules des boulets sont faits de deux pièces massives, *figure* T, au milieu de chacune desquelles est creusé un hémisphère d'un diamètre égal à celui que doit avoir le boulet que l'on se propose d'obtenir. Dans la partie supérieure *a*, est creusée une ouverture qui sert de jet et par laquelle on coule la fonte. Ces deux pièces, auxquelles on donne le nom de *coquilles*, s'accouplent et se placent, dans cette position, entre deux madriers U; on les y serre à force de coins. La coulée est placée en haut, et l'on verse dans ces moules, toute la fonte qu'ils peuvent contenir. Grignon blâme cette manière de couler les boulets, parce que, dit-il (2), il se forme souvent, dans leur intérieur, des creux qui diminuent le poids du projectile, et l'empêche quelquefois d'atteindre le but.

Des moules de terre.

504. On fait des *moules de terre* pour couler toute espèce d'objets; on obtient ordinairement, dans ces sortes de moules, les fontes mar-

(1) Il serait possible que, par cette haute température long-temps continuée, à laquelle le moule et le métal fondu seraient exposés, il arrivât deux inconvénients graves: 1° que le moule s'oxidât à la longue, et que les empreintes délicates se déformassent; 2° que le métal et le moule finissent à la longue par adhérer ensemble, et alors il serait extrêmement difficile de les séparer.

(2) Mémoires de Physique, sur l'art de fabriquer le fer, page 66.

chandes, telles que chaudières, marmites, ustensiles de cuisine, etc.; on y coule même des pièces d'artillerie, des projectiles, des statues, etc. etc.

Le moulage en terre paraît être le plus anciennement pratiqué, c'est celui qui est le plus généralement employé dans les usines. Il est plus long et présente un peu plus de difficulté que le moulage en sable; mais, toute chose égale d'ailleurs, il produit une fonte plus douce, plus facile à travailler, parce que les moules peuvent être facilement échauffés, et que la terre qui les composent se refroidit beaucoup plus lentement que le sable; la fonte y conservant plus long-temps sa chaleur, sort du moule avec plus de mollesse et de ténacité.

Les pièces moulées peuvent être pleines, comme les canons, les cylindres; elles peuvent être creuses, comme les marmites, les bombes. Les moules des premiers objets sont formés d'une simple enveloppe au milieu de laquelle est le vide que la pièce doit occuper.

On divise en trois parties les moules des pièces creuses: 1° le *noyau,* 2° la *chemise* (c'est l'espace que doit occuper, dans le moule, le métal fondu), 3° la *chappe* ou *manteau*. Ce dernier est formé avec la terre qui recouvre la chemise, et qui, enveloppant l'espace que la fonte doit occuper, conserve l'empreinte de tous les reliefs de l'extérieur de la pièce; c'est le moule proprement dit.

Chacune de ces parties sont faites de terre argileuse; mais l'espèce, la nature et la finesse de la terre varient selon l'usage que l'on en fait, et le fini des formes dont on veut conserver l'empreinte.

505. L'argile que l'on emploie est toute formée sur la surface de la terre; elle se trouve en couche, elle est plus ou moins grossière; c'est un composé de silice, d'alumine, d'oxide de fer, et quelquefois d'un peu de chaux.

Cette terre se délaye facilement dans l'eau; elle y forme une espèce de bouillie qui conserve plus ou moins de liant; en se desséchant, elle se fend, se gerce lorsque sa dessication est inégale. Pour éviter les fentes et les gerçures, on la mélange avec une substance filamenteuse,

telle que de la paille hachée, du crottin de cheval, du poil de vache, des étoupes, etc.; l'argile est pilée et passée au tamis de fil de fer, puis mouillée; souvent on la détrempe, on la délaie, on la passe en bouillie dans des tamis; on la mêle avec la matière filamenteuse qui doit augmenter son liant. La terre se divise en trois espèces; la plus grossière se pétrit avec du crottin de cheval ou de la paille pour former les *noyaux;* la moyenne est mêlée, soit avec du crottin, soit avec du poil de vache, elle sert à faire les *manteaux;* la plus fine est délayée avec du poil de vache; on l'emploie pour former la première couche qui recouvre la *chemise.*

506. Les outils dont on fait usage pour mouler en terre sont : 1° une masse V, pour casser la terre; 2° des couteaux X, pour la couper; 3° plusieurs tamis Y, pour la passer; 4° un marchoir pour la pétrir; 5° une chaudière pour faire chauffer l'eau avec laquelle la terre est délayée pendant l'hiver; 6° une petite manivelle II, pour tordre et corder la paille; 7° des arbres pyramidaux en bois *A,* sur lesquels on moule le modèle; 8° des manivelles *B,* en fer pour tourner les arbres; 9° un calibre *C,* pour donner les formes extérieures et intérieures des modèles; 10° un compas *D;* 11° un couteau *E,* etc.

507. Les pièces qui doivent être coulées pleines se moulent sur un modèle qui peut être de bois, de métal, ou de terre. On place ce modèle dans une position telle, que la terre étant séchée dessus, elle puisse s'en détacher commodément; il faut pour cela que les reliefs y soient disposés de manière à pouvoir se dépouiller facilement. On couvre de terre grasse et fine la moitié du modèle *a.* Lorsque cette terre est sèche, on la recouvre de quelques couches de terre moyenne que l'on fait sécher ensuite; enfin, on la recouvre encore de terre plus grossière. Cette moitié étant terminée, on retourne le moule et le modèle *b;* on met, sur la tranche qui doit séparer les deux moitiés, du sable ou de la poussière de charbon, pour empêcher qu'elles ne s'attachent, et l'on moule la seconde moitié sur la première. On les sépare toutes les deux; on retire le modèle, on fait sécher les deux pièces séparées, on couvre leurs surfaces intérieures d'un léger enduit de poussière de charbon délayée,

on place les deux moitiés du moule l'une sur l'autre, on les unit, on les serre, on les attache fortement, on évide les jets *c*, c'est-à-dire, les ouvertures par lesquelles la fonte doit couler et que l'on avait conservées massives sur le modèle; on fait encore sécher le moule et on le remplit de fonte liquide que l'on coule dedans.

Si les pièces fondues ont des petites dimensions, une couche de terre grasse, placée sur les moitiés du moule, lorsqu'elles ont été rapprochées, suffit pour opposer à la fonte liquide une résistance assez considérable pour les maintenir réunies; mais lorsque les pièces sont grandes et fortes, on environne les deux moitiés du moule de bandes de fer, avec lesquelles on construit des carcasses que l'on réunit fortement, soit avec des clavettes, soit avec des fils de fer.

508. Les *canons*, que l'on coule toujours pleins, ont leurs moules formés sur des modèles en terre, en bois ou en fonte.

Pendant long-temps, les modèles des canons, destinés à former les moules dans lesquels on doit les couler, ont été faits en terre grasse; cette méthode est encore en usage dans quelques fonderies, administrées par des hommes qu'une routine aveugle dirige, et qui ont craint d'adopter les perfectionnements que le travail de la fonte moulée a éprouvés sur la fin du siècle dernier; mais ces modèles ne peuvent servir qu'une fois; il faut en faire pour chaque moule que l'on veut construire. M. Brézin, fondeur plein d'intelligence, a substitué, un des premiers, avec beaucoup de succès, d'abord des modèles de bois à ceux de terre, puis des modèles de bronze aux modèles de bois.

Dans l'ancienne méthode on recouvrait, avec de la paille tordue, un arbre de bois *F*, qui avait la forme d'une pyramide à huit pans : on mettait sur cet arbre deux ou trois tours de cette même paille; on la recouvrait ensuite de terre grasse délayée avec du crottin de cheval, et c'était à cette terre qu'on donnait la forme que devait avoir le canon. On plaçait, à cet effet, l'arbre recouvert de paille sur un banc *G*; on y appliquait une manivelle pour lui donner un mouvement de rotation. Une planche, dans laquelle on avait découpé le profil du canon dans le sens de sa longueur, était placée de manière que l'axe du profil

coïncidât avec l'axe de rotation de l'arbre. On couvrait la paille de terre grasse à laquelle on donnait une forme à-peu-près semblable à celle du calibre, et cela en tournant le massif sur son axe; on laissait sécher cette première couche de terre, on en plaçait une seconde de terre plus fine, puis une troisième, quelquefois même une quatrième, alors le modèle prenait la forme exacte du calibre. Après chaque opération, on relevait le modèle pour le faire sécher près d'un foyer de charbon embrasé; après la dernière opération, lorsque le modèle avait été bien séché, on remplissait, avec de l'argile fine, les vides, les crevasses qui s'étaient formées sur la surface, que l'on recouvrait ensuite d'une couche légère de cendre mouillée, ou mieux, avec un peu de graisse : cette couche avait pour objet d'empêcher que l'argile du moule ne s'attachât à l'argile du modèle.

On plaçait aussi, sur le modèle, des tourillons *d, d,* figure *H*, c'est-à-dire, des petits cylindres destinés à supporter, à suspendre les canons. Ces cylindres sont en bois, recouverts de filasse et de terre, pour leur donner l'épaisseur qui leur convient.

On met des anses aux canons de bronze pour les suspendre, pour les mouvoir; on n'en met pas ordinairement aux canons de fonte de fer.

Rarement on couvre d'ornements les canons de fonte de fer, mais souvent on y applique des lettres, des caractères, soit pour indiquer la fonderie où ils ont été coulés, soit pour faire connaître le fondeur qui en a dirigé le travail. Les ornements et les caractères sont moulés séparément; ils s'appliquent sur le modèle avec de la térébenthine : on les couvre également de graisse, pour qu'ils ne restent pas attachés au moule.

Le modèle, bien sec, étant couvert d'une couche ou deux d'argile fine, ensuite de plusieurs autres couches d'argile plus grossière, on laissait sécher chaque couche séparément, et on les recouvrait de nouvelle argile jusqu'à ce que le manteau eût quatre pouces d'épaisseur environ, après quoi on ôtait les tourillons; le bois entouré de filasse s'enlevait facilement. On enveloppait ce manteau de barres, de lames, et de cercles

de fer, qu'on liait avec des fils d'archal, et que l'on recouvrait ensuite de terre grasse.

On sortait la pyramide de bois, en la tirant par sa base et en la frappant de quelques coups de maillet; on enlevait la paille, on jetait du combustible embrasé dans le vide pour faire gercer et rompre la terre qui formait le modèle, fondre la graisse qui la séparait du moule, et la faire détacher; on retirait, avec des crochets de fer, chaque morceau de terre séparé et rompu, et le moule devenait libre, figure *J*.

La culasse K se moulait séparément; on l'environnait également d'une carcasse de fer pour la maintenir; on l'attachait, à l'aide de cette carcasse, au châssis de fer qui entourait le moule du canon; et l'on couvrait le tout d'une terre nouvelle.

Dans quelques fonderies, le modèle de la culasse était en bois; dans d'autres, il était tourné en terre, comme celui du corps du canon.

Après avoir séché le moule, on le descendait dans une fosse, afin de placer son ouverture supérieure à la proximité de l'ouverture du fourneau dans lequel on liquéfiait la fonte, et de maintenir le vide du moule dans une position verticale; alors on débouchait l'œil et l'on coulait la fonte dans l'intérieur du moule.

509. M. Brézin pose son modèle en bois dans du sable ou de la terre A (planche 35); il l'enfonce jusqu'à la moitié de son épaisseur, puis il couvre de terre grasse, mélangée de poil de vache, la moitié saillante de ce modèle; il comprime fortement cette terre; il en remet de nouvelle sur la première quand celle-ci est sèche, et il continue à en remettre jusqu'à ce que le modèle en soit recouvert d'un couche de 4 à 5 pouces d'épaisseur; il recouvre le tout d'une carcasse de fer qui l'enveloppe bien, et il couvre encore cette carcasse de nouvelle terre grasse, ou de plâtre; il retourne le moule et le modèle; il met une légère couche de charbon sur la tranche du moule, afin que la seconde partie ne s'attache pas à la première; il couvre cette nouvelle face de terre grasse comme la précédente; il l'environne également d'une carcasse de fer qui correspond à celle qu'on a déja fixée, de manière qu'on puisse arrêter les deux carcasses et les lier ensemble, soit avec des boulons,

soit avec du fil de fer. Lorsque la terre est sèche, il retire la moitié supérieure du moule, sort le modèle, enduit l'intérieur des deux moitiés d'une couche de poussière de charbon et de cendre délayée; il replace les deux moitiés l'une sur l'autre, lie fortement, par des demi-cercles, les carcasses qui les environnent; enfin, il fait sécher et descendre les moules dans la fosse, il les fait placer de manière à recevoir commodément la fonte.

510. Le travail des *marmites,* coulées en fonte de fer, peut servir d'exemple pour la construction des moules composés de trois parties : d'un noyau, d'une chemise, et d'un manteau.

Pour obtenir le noyau de la marmite, on place l'arbre pyramidal B, sur le châssis; on l'entoure de paille cordée, afin de lui donner une forme à-peu-près semblable à celle que doit avoir l'intérieur du vase; on couvre ensuite cette paille d'une légère couche de terre grasse pour remplir le vide et l'unir; puis on la sèche. On met, de nouveau, le noyau sur le banc, on en approche la planche découpée selon la forme du calibre intérieur; on couvre le noyau de terre et on le forme complétement C, en tournant l'axe. On fait sécher ce modèle; on enduit sa superficie d'une couche de cendre délayée, ou de graisse fondue, afin que la chemise n'adhère pas au modèle. La matière qui remplit momentanément le vide dans lequel on doit couler la fonte, se compose d'un enduit de terre très-liante et qui puisse être facilement cassé lorsqu'il est sec. Il faut, pour cette seconde enveloppe, avoir une nouvelle planche découpée, formant le profil du contour extérieur de la chaudière. Ces deux profils doivent conserver entre eux l'épaisseur exacte du vase que l'on veut couler. Ce second profil se place sur le banc, de manière que son axe coïncide avec celui de l'arbre; on met la terre de la chemise sur le noyau, on forme ainsi cette dernière qu'on laisse sécher, et qu'on enduit extérieurement de cendre délayée, ou de graisse fondue.

Il est inutile, pour former le manteau du moule, de remettre l'arbre sur le banc à tourner, il suffit de placer, à la main, d'abord une couche de terre très-fine sur la chemise, puis des couches de terre plus

grossière, et de faire sécher chaque couche avant d'en mettre de nouvelles.

En appliquant chaque couche de terre successive, il faut avoir l'attention de conserver une ouverture pour la coulée, et une ou plusieurs autres pour les jets. Ces dernières se conservent ordinairement dans les endroits où l'on doit placer les anses, les pieds et les autres pièces qui doivent entrer dans la composition de la marmite.

Le manteau D, fini et encore mou, se coupe en deux parties E, dans le sens de la longueur, afin de le séparer et de le détacher commodément de la chemise. Chaque partie doit être parfaitement séchée et ensuite réparée intérieurement, après quoi, on les rapproche l'une de l'autre, pour y ajuster les moules des pieds, des anses, et des autres parties saillantes.

Les anses F, les pieds G, se moulent séparément. On a, pour cet effet, des modèles de terre, de bois, ou de métal. Lorsque ces parties ont des formes pyramidales, comme les pieds de marmites, ou toute autre pièce qui puisse se dépouiller et sortir facilement du moule, on fait ce dernier d'une seule pièce; mais si les pièces sont contournées, comme les anses de marmite, ou qu'elles aient des formes qui ne leur permettent pas de se dépouiller, il faut faire les moules de deux pièces, les diviser de manière qu'elles s'ouvrent pour laisser sortir le modèle, et qu'elles puissent se placer et se coler ensuite l'une sur l'autre.

Ces nouvelles additions s'ajustent sur le manteau I, sur le moule principal; elles s'y réunissent avec de la terre; après quoi, l'on chauffe fortement les deux parties du moule, soit dans des étuves, soit en les emplissant de combustible. On les répare lorsqu'elles sont sèches, en remplissant les gerçures, et on les enduit, dans l'intérieur, d'une couche de poussière de charbon, mêlée avec de la farine ou de la levure de bierre, quelquefois aussi l'on se sert de *graphite,* au lieu de poussière de charbon.

On retire l'arbre de bois du noyau par un choc; on sort la paille cordée qui l'environnait, on casse et l'on retire la chemise, on bouche l'ouverture par où passait l'arbre, on répare la surface du noyau, on

le place dans une situation verticale, et on le recouvre avec le moule, figure K. On réunit, avec de l'argile, les deux parties du moule, pour qu'elles tiennent fortement, et l'on porte le tout à la fonderie, pour y couler la pièce moulée.

511. Les noyaux et les chemises des petites pièces se tournent sur le banc; mais ceux des pièces d'un grand diamètre, telles que les *grandes chaudières* pour les teinturiers, les sucreries, étant trop difficiles à modeler dans cette situation, à cause de leur pesanteur, on les tourne verticalement.

C'est sur une surface en terre ou en maçonnerie bien dressée, ou sur une plaque de fonte de fer, que l'on construit le massif de noyaux L, soit avec des briques légères, soit avec de la terre cuite, ou même avec des pierres. On fixe un axe sur le sommet de ce massif; cet axe sert de centre, autour duquel doit tourner le calibre du noyau, c'est-à-dire, le calibre de l'intérieur de la pièce. On met donc sur ce massif une couche de terre grasse ou d'argile, mêlée de crottin de cheval, que l'on fait sécher; sur celle-ci une seconde, une troisième, etc., jusqu'à ce que, par le mouvement du calibre, on ait formé exactement le noyau ou le vide intérieur du vase. On le fait sécher et on l'enduit d'une couche de cendre; on place le second calibre, celui de l'extérieur, de manière à ce qu'il reste, entre le noyau et la surface du moule, un espace égal à l'épaisseur que la pièce doit avoir; on recouvre cet espace avec de l'argile fine, on fait tourner le calibre, et on unit la surface extérieure de la chemise que l'on sèche ensuite. On retire l'axe, on unit le sommet de la chemise qui forme le fond du vase; on sèche de nouveau la terre, et l'on enduit la surface d'une couche de cendre délayée; puis on procède à la formation du *manteau*, en couvrant la *chemise* de plusieurs couches successives d'argile, qui doivent toujours être fine pour les premières, et grossière pour les autres. On forme l'ouverture du jet, celle des évents. Le moule M étant fait, on coupe le manteau en deux parties, on les sèche, on les répare, on les sèche encore, et on les enduit d'une couche de charbon ou de graphite délayée dans de l'eau.

Il est inutile d'observer que, si la pièce a des pieds, des anses, ou tout autre accessoire qui doit être moulé séparément, il faut laisser, dans le manteau, des vides pour les placer, et l'on doit éviter, en coupant celui-ci, de faire la séparation sur les ouvertures où les pièces de rapport doivent être fixées.

On pose le manteau sur le noyau; on soude les deux moitiés avec de l'argile, et l'on transporte le moule dans la fonderie pour y couler la pièce.

Si les pièces sont ovales ou à plusieurs pans, elles sont plus difficiles à exécuter; il ne faut les confier qu'à des mouleurs adroits et intelligents. Le noyau, la chemise, et le moule, se construisent verticalement, et sur une plaque de fonte.

Les moules des grands objets sont environnés d'un châssis formé de barres et de cercles de fer, pour leur donner la solidité qui leur est nécessaire.

512. Les *statues* sont moulées avec plus de soin et d'attention. Les moules sont construits dans une aire murée N, pour pouvoir les faire recuire sans les déplacer. L'aire doit être couverte de grilles *g, g* qui supportent le combustible, et elles doivent être assez élevées pour qu'il s'établisse au-dessous un courant d'air propre à entretenir la combustion.

Parmi les différentes méthodes dont on fait usage pour la confection des moules de terre des statues, on en distingue deux principales : la première exige que le modèle soit préalablement exécuté en cire; on peut, dans la seconde, faire usage de modèles en plâtre ou en terre cuite : on se sert de la première méthode pour les statues de moyenne grandeur, et de la seconde pour celles de grandes dimensions. Dans le premier cas, on construit, en terre, un noyau O, sur lequel on puisse facilement modeler la statue, après l'avoir recouvert d'une couche de cire de quelques lignes d'épaisseur. Il faut donc que ce noyau ait déja les formes principales du modèle; on assujétit toutes les pièces détachées qui en dépendent, par le moyen d'un châssis de fer *a*, sur lequel l'argile est posée : on fait sécher ce noyau avant de modeler la cire, pour qu'il n'éprouve plus de retrait.

Les anciens faisaient d'abord leur figure en terre, ils la modelaient sur le châssis de fer qui devait supporter le noyau, puis ils enlevaient, sur ce modèle, une couche de terre plus ou moins épaisse, qu'ils remplaçaient par de la cire.

La cire qu'on emploie pour former la chemise, est composée de dix parties de cire jaune, cinq de térébenthine, une de poix grasse, une de sain-doux. On empêche que cette composition ne tienne et ne s'attache aux moules, en imbibant ceux-ci avec un mélange de parties égales d'huile d'olive, de sain-doux, et de suif fondu.

Après avoir recouvert le noyau d'une légère couche de cire, le statuaire modèle toutes les formes, et donne ainsi, à la cire, le fini du relief P.

On applique, sur la chemise, des conduits Q; les uns doivent servir au passage de la fonte, pour parvenir dans toutes les parties du moule et remplir exactement le vide; les autres doivent servir de débouchés et de sorties à l'air.

Les conduits placés, on passe, avec un pinceau, sur le relief de cire, une couche d'argile fine et parfaitement délayée; on la laisse sécher et on en passe une seconde qu'on laisse encore sécher, puis une troisième, une quatrième, etc. Les couches qui suivent peuvent être d'argile un peu plus grossière et avoir plus d'épaisseur. Après avoir placé successivement plusieurs couches liquides de terre fine et délayée, on les recouvre d'argile molle et pétrie R, qu'on enveloppe d'un châssis de barre de fer S, que l'on recouvre encore d'argile ou de plâtre T.

Aussitôt que le moule a éprouvé une première dessication par l'action de l'air seul, on élève des murs U, autour de l'emplacement sur lequel il est fixé, puis on le chauffe graduellement jusqu'à ce qu'il devienne rouge, afin de le dessécher complétement.

Le premier effet de la chaleur est de faire fondre la cire qui remplit le vide que la fonte doit occuper. Elle est reçue dans des vases par le moyen de quelques ouvertures pratiquées dans le bas du moule, pour lui procurer un écoulement. Ces ouvertures sont bouchées ensuite pour

que la fonte reste dans l'espace vide. Continuant ainsi d'échauffer le moule, il se sèche; et lorsqu'il est entièrement rouge, on l'enterre, et l'on dispose la fonte de manière qu'elle puisse y entrer tandis qu'il est encore chaud.

513. Cette première méthode n'est ordinairement pratiquée que pour mouler les statues de moyenne grandeur; si elles ont de plus grandes dimensions, on les moule par partie.

On fait deux sortes de moules; les uns sont provisoires et servent à imprimer le relief de la chemise; les autres sont destinés à recevoir la fonte et à la mouler. Les premiers sont en plâtre, et coulés par partie sur la statue; les seconds sont en argile, que l'on pétrit et que l'on imprime sur la surface du modèle. Quelle que soit la substance du moule, les dimensions de chaque partie doivent être telles qu'elles puissent se dépouiller facilement et se monter commodément. On y fait des remarques, on y trace des repères, afin de pouvoir les ajuster dans l'ordre convenable à la forme de l'objet que l'on moule.

Les chemises, c'est-à-dire, la matière qui remplit l'espace vide que doit occuper la fonte, sont en cire ou en argile très-fine. Pour leur donner l'épaisseur que doit avoir la fonte, on les pétrit et on les amincit avec des rouleaux, de manière à en former des planches que l'on presse contre les creux du moule, afin d'imprimer, sur l'une des faces de la chemise, les reliefs du modèle.

Pour monter les moules V, dans lesquels on place une chemise de cire ou d'argile, on ajuste d'abord les parties du manteau provisoire, et l'on place, contre ces pièces, les parties de la chemise qui leur correspondent; il se forme alors un espace vide dans lequel doivent être placées les carcasses de fer qui doivent maintenir et supporter le noyau; alors on emplit cet espace d'une substance qui empêche la fonte d'y pénétrer, et qui conserve au métal fondu et coulé l'épaisseur qu'il doit avoir.

Cet espace se remplit de deux manières : 1° on place dans le vide la matière du noyau, et, à mesure qu'on élève le manteau, on la comprime fortement; 2° on monte le manteau et la chemise et on

coule, dans le vide du noyau, une combinaison terreuse, liquide, susceptible de se solidifier dans l'espace qu'elle occupe.

Pour éviter de former séparément les chemises, de leur moule, quelques fondeurs montent d'abord le manteau provisoire, en remplissant, avec la matière du noyau, tout l'espace vide resté dans le moule; ils démontent ensuite leur manteau, grattent, sur toute la surface du noyau, une épaisseur de matière égale à celle que la fonte doit avoir; ils couvrent leur noyau d'une couche de cire d'une épaisseur égale à celle de la matière enlevée; ils remontent leur noyau provisoire, en comprimant fortement la cire avec chaque partie séparée du manteau, afin de lui imprimer sa forme et les détails qu'il contient. Par cette méthode ils peuvent faire varier les diverses épaisseurs de la fonte, afin d'obtenir, dans chaque partie, celle qui est la plus propre aux succès de la pièce.

Dès que le moule est monté, que l'empreinte du modèle est bien imprimée sur la chemise, on démonte le manteau provisoire, on répare le modèle et on l'enduit de plusieurs couches de terre fine et délayée pour former le manteau définitif. Sur ces couches d'argile fine, on en met de nouvelles d'argile plus grossière; enfin, on les entoure avec des carcasses de fer, afin de donner aux manteaux l'épaisseur et la solidité nécessaires.

On se contente de chauffer le moule pour faire fondre la cire lorsque les chemises ont été faites avec cette substance; mais lorsqu'elles sont en terre, il faut couper le moule en plusieurs morceaux, pour l'ouvrir et retirer la chemise de terre; on les replace ensuite, et on les recouvre de terre et de liens de fer.

Lorsque les pièces du moule sont en terre, et qu'elles peuvent, étant montées, recevoir et contenir la fonte liquide, sans s'altérer ni se dégrader, la chemise devient inutile. On se contente alors de remplir, avec la matière du noyau, tout l'espace qui reste dans le moule; de démonter le manteau, de gratter, sur le noyau, une épaisseur de matière égale à celle que le métal doit avoir, puis de remonter les pièces du moule, de les lier, et de les assujétir de manière à ce qu'elles puis-

sent recevoir et mouler la fonte que l'on verse dans l'espace vide.

En remontant le manteau, il faut avoir soin de réunir les pièces d'argile les unes aux autres avec de l'argile liquide, afin qu'elles puissent fortement adhérer entre elles, et qu'elles ne laissent aucun vide entre lesquels la fonte pourrait s'infiltrer.

514. Les grandes pièces des statues équestres, comme celle de Louis XV, sculptée par Bouchardon, moulée par Levasseur, et fondue par M. Gu, ont leur noyau rempli d'un mélange de deux parties de plâtre et une de brique pulvérisées. Après avoir construit en fer la carcasse qui doit soutenir le noyau, réuni les morceaux qui forment la chemise, et qui remplissent le vide dans lequel la fonte doit être coulée; après avoir appliqué le moule de plâtre contre la chemise entière, pour la fixer et la maintenir, on coule, par plusieurs ouvertures, le mélange gâché et liquide de plâtre et de brique pulvérisés. Le tout se prend en masse, en remplissant exactement le vide du noyau. Ce mélange, n'augmentant ni ne diminuant de volume en se solidifiant, est un des meilleurs dont on puisse faire usage.

Le moule de la grande statue de Louis XV, ayant été fait en plâtre, on le défit après avoir coulé le noyau, quoique la chemise de la statue fût en cire, parce que le plâtre aurait difficilement soutenu, sans se détériorer, la chaleur et l'action de la fonte liquide : on recouvrit ensuite cette chemise de plusieurs couches d'argile fine et liquide; on mit sur celle-ci d'autres couches d'argile plus grossière, et l'on bâtit par-dessus un fort manteau en argile sèche et cuite.

515. Il est inutile d'observer qu'il faut placer, contre la chemise de toutes ces statues, des conduits pour la fonte, et d'autres pour l'air, afin que le métal liquide se distribue uniformément.

Le moule construit, on le fait sécher dans le fourneau où il a été formé. Si la chemise est faite de cire, elle se fond; on la recueille en la faisant couler par des conduits pratiqués dans le bas; on bouche ces conduits; l'on chauffe plus fortement et par gradation, jusqu'à ce que le moule devienne rouge; on l'enterre, et l'on coule la fonte dans son intérieur.

Les personnes qui desireront avoir de plus grands détails sur le moulage des statues, peuvent consulter l'article sur la Fonte des statues, dans les Arts et Métiers de Spenger; l'article Fondeur dans l'Encyclopédie par ordre de matières; la fonte de la statue de Louis XIV, par Keller, publiée par Boffrand, en 1743; et la description des travaux qui ont précédé et accompagné la fonte, en un seul jet, de la statue de Louis XV, publiée par M. Mariette, en 1768, sur les dessins de M. Lempereur.

Des Moules en sable.

516. Les moules en sable sont formés de châssis de bois ou de fer, que l'on emplit de sable argileux. On forme en creux, dans chacun d'eux, l'empreinte d'une partie de la pièce que l'on veut obtenir; et, en réunissant les châssis les uns sur les autres, on complète le vide de la pièce qui doit être coulée.

Tout fait croire que les moulages en sable sont très-anciens : les fondeurs en bronze en faisaient usage depuis une époque très-reculée; mais c'était seulement pour couler de petits objets. Quand ils avaient de grandes pièces à modeler, ils se servaient de terre.

Comme on a trouvé cette méthode plus commode et plus expéditive que le moulage en terre, et qu'on pouvait l'appliquer avec avantage dans le travail de la *fonte de fer en marchandises,* on l'a transportée dans les usines; d'abord pour mouler et couler de petits objets, ensuite pour des pièces plus considérables; enfin, on moule aujourd'hui en sable de très-fortes pièces, des canons, des cylindres, des machines à vapeur, etc.

517. Les instruments nécessaires aux mouleurs en sable sont : 1° les modèles en métal, en bois, ou en plâtre, des objets que l'on doit mouler; 2° les châssis A, (planche 36) qui doivent contenir le sable du moule : ces châssis sont simples, lorsque deux parties suffisent pour former le moule; ils sont dits multiples, lorsque le moule en exige un plus grand nombre; 3° le rouleau B, pour écraser le sable; 4° le racloir C, pour affleurer le sable; 5° le maillet D; 6° le cagneux E, pour comprimer le sable; 7° les battes F, pour le fouler; 8° le marteau G; 9° les

cuillers H; 10° le couteau I; 11° la truelle K; 12° les tranches L; 13° la rape M; 14° le *secoueux* N; 15° la brosse O; 16° le bouchon de laine P; 17° le houssoir Q; 18° le sac à charbon R.

518. On emploie, pour former les moules, un composé de sable sec et d'argile, c'est-à-dire, un mélange de silice et d'alumine colorées par de l'oxide de fer qui contient quelquefois un peu de chaux. Ce sable doit avoir assez de liant pour se réunir fortement par la compression, et il doit être en même temps assez siliceux pour ne point se gercer en se chauffant.

On trouve des sables dont la composition naturelle est propre à former des moules, c'est-à-dire, qui ont tout le liant et le retrait nécessaires, tel est celui de Fontenai-aux-Roses, près Paris. Lorsque les sables naturels n'ont pas assez de liant, on leur en donne en leur ajoutant un peu d'argile; et, dans le cas contraire, on leur en ôte en y ajoutant des sables secs et très-siliceux.

Quoiqu'un sable ait déja servi, il peut encore être employé de nouveau, en le pulvérisant et l'humectant avec un peu d'eau. S'il acquiert trop de sécheresse par l'usage, il faut mêler des sables nouveaux avec de l'ancien, et quelquefois même y ajouter un peu d'argile.

519. Plusieurs objets sont coulés massifs; d'autres sont creux et vides dans l'intérieur. Parmi les premiers, sont les cylindres des laminoirs, les pièces d'artillerie, les rouages des machines, les médailles, les bas-reliefs; parmi les seconds, sont les tuyaux de conduits, les grands cylindres à vapeur, les marmites, les chaudières, les bombes, etc.

Les pièces que l'on moule doivent être placées dans le sable, soit entières, soit divisées, de manière que chaque partie du modèle puisse se séparer facilement du sable, et qu'elle puisse se dépouiller complétement : ainsi, lorsque l'on veut mouler un *canon* qui doit être coulé dans une position verticale, il faut diviser les pièces S en 14 parties, en y comprenant la masselotte; et le châssis T, qui contient les pièces du modèle, en 7 parties. Dans cette division du modèle, il y a sept pièces, savoir : deux plates-bandes *a, b,* deux tourillons *c, d,* une partie du renflement de la mouline de la tulipe, et les deux oreilles du bouton de

la culasse qui n'ont pas de châssis, parce qu'elles peuvent se détacher du modèle et se retirer séparément du moule. Nous allons donner ici un exemple d'une pièce pleine, celle d'un *canon de fonte de fer.*

Après avoir divisé le modèle du canon en 14 parties; savoir : 1° le modèle du bouton de la culasse *h*, réuni à sa tige carrée; 2° les deux oreilles de cette tige *f*, *g*, qui servent à attacher la culasse sur le collet qui la fixe à l'axe de la roue qui fait tourner le canon; 3° la culasse *i*; 4° le premier renfort *k*; 5° l'astragale de la lumière *b*, qui se fixe sur ce renfort; 6° le second renfort *l*, ou renfort des tourillons; 7° les deux tourillons *c*, *d*; 8° le modèle de la volée *m*; 9° la plate-bande de la volée *a*; 10° une partie de la tulipe *n*, jusqu'au plus grand renflement de son bourlet; 11° le grand renflement du bourlet jusqu'à la tranche de la bouche *e*; 12° la masselotte *o* (1).

520. On met une couche de sable sur la caisse du bouton de la culasse U; on bat fortement cette couche, et l'on place par-dessus la tige carrée du bouton de la culasse, contre lequel on a ajusté les deux oreilles; cette tige est enfoncée de manière que la moitié du bouton de la culasse saille en dehors; on remplit de sable l'espace compris entre le modèle et la caisse de fer, et l'on bat et comprime fortement ce sable.

On place sur ce premier châssis, celui de la culasse V; on fixe le modèle de cette culasse, on verse du sable, et l'on bat fortement.

Sur le second châssis on pose celui du premier renfort X; on y place le modèle autour duquel on a fixé l'astragale de la lumière.

On met sur le troisième châssis, celui des tourillons Y; on place dedans le modèle du second renfort, et on y attache les tourillons.

Sur le quatrième châssis Π, on pose celui de la volée, dans lequel on place son modèle et celui de la plate-bande; sur celui-ci on pose le châssis de la tulipe dans lequel on place le modèle des deux parties qui

(1) Comme il existe deux oreilles de tiges carrées et deux tourillons, on voit que le nombre des pièces est de quatorze.

la composent; et enfin, sur ce dernier, le châssis de la masselotte dans lequel on place son modèle.

En posant ces châssis les uns sur les autres, on les fixe avec de bonnes et fortes clavettes, pour leur conserver la position qu'ils doivent avoir.

Avant de placer un châssis sur un autre, on bat fortement le sable du premier; on y trace des repères et l'on couvre la surface de séparation des deux châssis avec de la poussière de charbon, pour que les masses, comprimées dans chaque châssis, puissent se séparer facilement.

Toute la pièce étant moulée, on sépare les châssis et l'on en sort les modèles qu'on y a placés; on les retire par le côté le plus large T.

Deux modèles paraissent difficiles à faire sortir : 1° le renfort des tourillons, 2° le renfort de la lumière. Il faut séparer les tourillons du premier, et l'astragale de la lumière du second. Comme ces tourillons n'ont été fixés que par des vis, on les sort par l'extérieur du modèle qui sort lui-même du renfort que l'on détache des tourillons, pour faire sortir ces derniers séparément. Comme l'astragale est fixée avec des vis sur le renfort qu'elle retient dans le moule, on retire les vis; on la détache, on fait sortir le renfort, et ensuite l'astragale elle-même, qui est divisée en deux parties.

On voit également que, par la décomposition en trois parties, de la tige carrée de la culasse et de ses deux oreilles, avec quelle facilité on peut faire sortir ces trois pièces du moule qui les contient.

Les modèles étant sortis, on fait sécher séparément, dans des étuves, chaque partie du moule; on les répare, et l'on applique une couche de cendre, délayée avec du charbon, sur la surface du moule; puis on ajuste, dans la fosse où ils doivent être placés, tous les châssis les uns sur les autres; on les y assujétit avec des boulons et des clavettes, et l'on fait couler la fonte pour remplir le vide.

521. De toutes les pièces que l'on coule dans des moules de sable, on peut placer les canons parmi les plus grosses, et les médailles dans le nombre des plus petites. Pour ne pas multiplier les exemples et parcourir de suite la série des objets qui peuvent être moulés, nous allons faire connaître les procédés que l'on emploie pour ces derniers objets.

Les châssis, dans lesquels on moule les grosses pièces de fonte, sont ordinairement en fer, souvent ils sont eux-mêmes en fonte. Les petits objets peuvent être moulés dans des châssis de bois, en suivant en tout la méthode indiquée par les mouleurs en bronze, particulièrement s'il est indifférent que la fonte obtenue soit douce ou cassante, et si l'on n'est pas dans l'obligation de faire sécher ou de faire rougir le moule dans un foyer ou dans un fourneau à réverbère, comme le recommande le célèbre Réaumur, dans un grand nombre de circonstances.

522. Quant aux *médailles,* c'est ordinairement dans de petits châssis de fer qu'on les moule; et, pour donner une description plus exacte du procédé qu'on emploie, nous allons traduire celui que Tiemann a indiqué (1), et qu'il a fait pratiquer avec succès dans le Hartz.

« Le sable avec lequel on moule les médailles doit être fin, liant, mais ne pas s'attacher à la fonte.

« On le compose d'un mélange de sable, d'argile et de poussière de charbon, dont la proportion varie avec la nature des deux premières substances. Ces terres étant séchées, pulvérisées et tamisées, on les humecte et on les mélange intimement; elles doivent être plus humectées que le sable ordinaire : il faut qu'elles puissent conserver, avec beaucoup de netteté, l'empreinte des reliefs que l'on imprime dessus.

« Il n'est pas nécessaire de construire entièrement le moule de sable fin, il suffit d'en placer une légère couche sous l'empreinte des modèles. Lorsque le fond du moule est de sable plus grossier, il se sèche mieux, et la fonte ne court pas la chance de bouillonner lorsqu'on la coule. »

523. Les châssis A sont en fer; leurs dimensions doivent être telles, qu'ils puissent contenir plusieurs médailles. Ils sont composés de deux parties qui joignent bien l'une sur l'autre, que l'on peut réunir et serrer fortement par des clavettes *a;* ils ont un conduit ou jet en fer *b* qui déborde et saille hors les moules.

---

(1) Abhandlung über die formerei und Giesserei, aut Eisen-hütten kunde, an 1803. Nuernberg in der Kaspeschen, §. 74 et suiv.

Quant aux modèles, ils peuvent être en métal, en porcelaine, en soufre, ou en plâtre. Plus un modèle est mince, plus l'objet que l'on coule est beau. Il est avantageux de ne mouler et de ne couler à-la-fois qu'une des faces des bas-reliefs ou des médailles, pour que la fonte soit plus mince et que le relief d'un côté soit conservé en creux de l'autre; on obtient difficilement un objet grand et épais, aussi pur et aussi uni qu'un petit.

524. Pour mouler, on place, sur une planche *B*, les médailles dont le moule doit prendre l'empreinte; on les pose de manière que le relief soit en haut; on place à côté d'elles les modèles en relief des conduits par où la fonte doit parvenir dans le creux des empreintes. On pose le châssis sur la planche; on couvre les reliefs de sable très-fin, et, par-dessus celui-ci, d'autre sable plus gros : on les comprime tous deux fortement sur les modèles et sur la planche; on remplit la caisse de gros sable, on le bat, on le comprime encore, on unit le fond du châssis avec une règle; on le retourne, on ôte la planche qui couvre les médailles, on creuse des repères dans le sable, et on les couvre, ainsi que les modèles, de poussière de charbon. On enlève, avec un pinceau, le sable qui est sur le modèle; on pose le second châssis sur le premier, on l'y fixe avec des boulons ou des clavettes, on met du nouveau sable fin sur les modèles; on recouvre ce dernier de gros sable que l'on comprime, et on en remet de nouveau jusqu'à ce qu'il soit entièrement plein; puis on recouvre le châssis avec une planche.

On sépare les châssis, on soulève les modèles, les jets, et on les répare s'ils en ont besoin. On ôte les médailles avec précaution, et l'on s'assure si l'empreinte est pure et exacte; dans le cas contraire, il faudrait défaire le moule et le recommencer.

L'empreinte étant purement obtenue, on noircit les deux faces du moule en les exposant à la fumée d'un bois résineux ou à celle des lampes. On donne, par ce moyen, de la finesse et du poli aux deux surfaces; on réunit les châssis et on les serre, d'abord avec les boulons et les clavettes, puis on les met dans une presse entre deux planches, pour comprimer le sable; on les porte à la fonderie, où l'on y coule la fonte.

Dans quelques fonderies, on fait sécher les moules en les plaçant autour d'un foyer de charbon embrasé, et on les ferme avant ou après la dessication.

525. Les pièces creuses, moulées avec des noyaux, sont en grand nombre. Pour ne pas multiplier inutilement les exemples, nous allons choisir deux objets, l'un dont le noyau se dépouille facilement, l'autre dont il ne peut se dépouiller. Pour premier exemple, nous donnerons une marmite avec ses pieds et ses anses, et pour second, une bombe.

Les modèles des *marmites* ordinaires, dont le noyau se dépouille, sont composés de douze parties : 1° du corps de marmite *C;* 2° des deux anses *D,* qui se divisent chacune en deux parties, l'une droite et l'autre arrondie; 3° des trois pieds *E,* formés de deux pyramides opposées, et divisées à leur réunion, pour qu'ils puissent se dépouiller dans le moule; la partie supérieure, garnie d'un tenon, se nomme *pied,* et la partie inférieure, *patins*; 4° du jet *F,* pour couler la fonte.

On divise ordinairement en trois parties les châssis dans lesquels se forme le moule : 1° la fausse pièce de dessous, armée de deux goujons pour lier les deux autres pièces; 2° le châssis de corps avec ses coulisses, pour retenir les goujons et ses anses pour le manier commodément; 3° la fausse pièce de dessus, qui contient deux crochets, pour l'attacher aux goujons et retenir fortement les trois pièces.

526. Pour mouler une marmite, on place le corps du modèle sur une planche *C,* l'ouverture en bas : on l'entoure du châssis de corps *G,* de manière que le modèle soit placé au milieu; on verse peu-à-peu, dans le châssis, du sable que l'on comprime avec des battes, jusqu'à ce qu'il soit à la hauteur du fond; on place alors les pieds *p* du modèle, le jet *j*, et l'on continue de verser et de comprimer du sable entre ces nouvelles pièces. Le châssis de corps étant rempli, on unit, avec une règle, la surface du sable comprimé; on creuse deux repères et l'on recouvre cette surface avec de la poussière de charbon. On place la fausse pièce *H* dessus; on l'emplit de sable que l'on comprime encore, et l'on perce des creux dans ce sable. Lorsque cette partie supérieure du moule est sur le point d'être finie, on unit le sable, on met une

planche dessus, et l'on retourne le châssis *J;* on creuse, dans la nouvelle surface découverte, deux enfoncements pour placer les anses *a, a;* on les fixe en comprimant du sable autour, et l'on remplit l'espace vide. On unit la surface, on la couvre de poussière de charbon, on place la fausse pièce *K,* de dessous, sur le châssis du corps; on la fixe à la fausse pièce de dessus par des crochets, et l'on emplit de sable tout l'espace vide, en le comprimant avec force.

Dès que le sable est comprimé de toute part dans les châssis, on les sépare, on en sort les modèles qui sont entre les deux parties *L* et *M;* on ouvre le jet, on saupoudre les empreintes de poussière de charbon, on réunit les trois parties du châssis, on les fait sécher, et on les porte à la fonderie pour y couler les pièces.

527. Les *bombes* sont formées d'une sphère de fonte creuse pour contenir, dans leur intérieur, de la poudre qui doit les faire éclater en s'enflammant. L'épaisseur doit être telle, qu'elle puisse résister au choc qu'elles éprouvent dans le transport et pendant leur sortie du mortier, et elle doit être assez faible pour éclater facilement par l'explosion de la poudre intérieure.

Les grosses bombes *N* ont des anses pour les manier et les transporter à volonté. Leurs modèles sont composés de six pièces *a, b, c, d, e,* pour mouler leur forme extérieure, et d'un axe *f,* pour mouler le noyau; savoir : deux hémisphères creux *b, c,* et deux anses *d, e,* divisées chacune en deux parties; les modèles des bombes, sans anses, sont composés de deux hémisphères et de l'axe pour placer le noyau.

Le châssis est formé de deux caisses *O, O;* celle du dessous, qui doit mouler l'hémisphère sur lequel la lumière et les anses sont placées, contient, dans sa partie inférieure, une barre *P,* ou traverse de fer, pour donner au modèle du noyau une position fixe et constante.

527 (*bis*). On moule d'abord le noyau *f;* on place sur l'axe une première sphère de paille cordée : on le met ensuite sur le banc à tourner; on couvre la paille d'une première couche de terre que l'on fait sécher. Sur cette première couche on en met une seconde que l'on fait encore sécher, et sur celle-ci une troisième qui doit terminer le noyau. Pour

qu'il sèche bien et qu'il conserve sa forme sphérique, il est bon que les couches de terre grasse soient de la même épaisseur; il faut donc, en les mettant, tourner le noyau sur trois calibres différents, dont le dernier ait exactement le diamètre de l'intérieur de la bombe.

La paille doit être retenue sur l'axe de fer par une cheville de bois; la terre l'est elle-même par le moyen d'un fil de fer placé à l'extrémité de l'axe. Celui-ci contient, de plus, une rainure dans toute sa longueur. On met, dans cette rainure, de la paille, que l'on brûle ensuite pour former un évent par lequel l'humidité intérieure peut s'exhaler.

L'*hémisphère de lumière* *Q*, se pose sur une planche, en le plaçant sur son grand cercle : on le recouvre du châssis de dessous *R*, que l'on pose de manière qu'un petit cylindre de fer *g*, qui forme le prolongement de la lumière, entre dans deux ouvertures faites à la traverse de fer *t*, fixée sur le châssis; on place ensuite les anses *a, a,* lorsque cet hémisphère en contient; les deux pièces qui les composent entrent dans des ouvertures faites dans le modèle, qui servent également pour les retirer et les sortir dans le vide intérieur. Deux morceaux de bois *b, b,* taillés en biseaux, les retiennent et les empêchent de tomber. On met du sable dans le châssis, on le bat, on le comprime, on forme le moule extérieur de cet hémisphère, et l'on dresse la surface du sable avec une règle.

Le châssis est retourné *S* pour former la seconde partie. On place, en conséquence, le second hémisphère *h* sur le premier; on couvre ensuite la surface du sable de poussière de charbon; on met le second châssis *c, c* sur le premier, on l'arrête par ses crochets, on l'emplit de sable que l'on bat, que l'on comprime; on place le jet et l'évent *e, e;* on continue de mettre du sable et de le comprimer, jusqu'à ce que le châssis en soit entièrement rempli; on unit ensuite la surface avec une règle.

Aussitôt que le moule extérieur est terminé, on sépare les deux châssis; on retire les anses et les deux hémisphères *T;* on noircit le sable de l'intérieur, on le fait sécher, et l'on place le noyau.

On passe, à cet effet, l'axe cylindrique du noyau *U* dans les deux

ouvertures faites à la barre de fer du châssis du dessous; le noyau se fixe ainsi au milieu du moule; on l'arrête par le moyen d'une clavette, et l'on place, par dessus, l'autre châssis *V*, afin de couvrir le noyau; on l'arrête et on transporte le tout à la fonderie, pour y couler la fonte.

L'objet essentiel, dans la confection des bombes, c'est que le noyau soit sphérique, et qu'il soit exactement placé au milieu du moule. C'est pour remplir ce but qu'on fixe, au châssis de dessus, une bande de fer surmontée d'une chape, qui sont percées l'une et l'autre d'un trou cylindrique dans la direction de l'axe. Ces deux ouvertures servent de repères, pour placer le modèle extérieur et le noyau de l'intérieur.

Il est inutile d'observer que la fonte chauffe tellement le noyau, qu'elle brûle en partie la paille; de-là, que l'axe peut être facilement retiré de l'intérieur de la bombe, lorsqu'elle est refroidie; que la paille est brûlée et la terre rendue fragile, et que l'enveloppe est cassée.

Des avantages et des inconvénients qui résultent de ces quatre manières de mouler.

528. Dans les usines, où l'on a un grand nombre d'objets semblables à mouler, il est avantageux d'employer des moules de métal, à l'instar des fondeurs d'étain. Telles sont, pour la fonte de fer, les coquilles dans lesquelles on coule les boulets de canon; mais les fontes obtenues dans des moules métalliques, qui sont de très-bons conducteurs de la chaleur, se refroidissant trop rapidement, se trempent par ce refroidissement rapide, et deviennent blanches et cassantes. La fonte grise, qui diminue de volume en se solidifiant, produit souvent, dans l'intérieur des fontes massives, lentement refroidies, des vides, des cavités qui peuvent nuire à la bonté, à la solidité des pièces moulées; ainsi, quoique ces moules présentent de grands avantages, puisqu'ils économisent des frais de moulage, on ne s'en sert que rarement, et lorsque, comme dans les boulets, l'aigreur de la fonte n'est pas un défaut qui puisse nuire à la pièce que l'on doit obtenir.

On fait, avec beaucoup de facilité, les moules en sable découverts; ils n'exigent pas un long apprentissage; mais cette manière de mouler ne convient qu'à des pièces grossières, et qui peuvent avoir une de leurs faces (celle qui est exposée à l'action de l'air) brute et raboteuse. On ne l'emploie donc que pour des plaques de fonte, des cœurs de cheminée, des poids à peser, et généralement pour des pièces qui n'exigent pas une grande perfection dans le moulage.

Le moulage en terre et le moulage en sable, dans des châssis, sont également propres à couler de gros objets, recouverts de traits fins et délicats, et de petits objets précieux par leur fini. On coule, dans ces deux sortes de moules, des statues et des médailles.

Nous ne mettrons pas en concurrence, dans ces deux manières de mouler, les grandes statues qui exigent, dans le travail du moule, une foule de détails qui sont bien exécutés en terre, et qui le seraient plus difficilement en sable.

Tous les objets qui peuvent être également bien moulés des deux manières, et qui le sont plus facilement en sable, ne présentent de différences sensibles que dans les dépenses qu'exige la confection du moule, par chacune de ces deux méthodes, et dans la qualité de la fonte obtenue. En général, on moule en sable avec plus de facilité et d'économie; mais la fonte que l'on obtient de cette manière est ordinairement plus blanche et plus cassante que celle qui est obtenue dans les moules de terre.

Le sable est plus conducteur de la chaleur que la terre grasse; quoique comprimé, il est plus poreux; les objets s'y refroidissent plus promptement; ils s'y trempent en quelque sorte; la fonte doit donc blanchir et devenir cassante. Mais cette défectuosité dans la fonte n'est sensible que dans les petites pièces, les grosses en sont peu affectées; ainsi, lorsque la ductilité de la fonte est indifférente, il est préférable de couler dans des moules de sable; et si les pièces sont petites, peu épaisses, et qu'elles doivent être réparées, il est plus avantageux de couler dans la terre : il n'est cependant pas impossible d'empêcher, en partie, l'aigreur que produit un refroidissement trop rapide; on y par-

vient en maintenant le moule de sable à une haute température, et en le plaçant dans des circonstances où son refroidissement soit très-lent; ainsi l'on peut diminuer l'effet de la trempe en enveloppant le moule de scories rouges, ou de charbons embrasés, ou mieux, en le laissant refroidir dans un fourneau à réverbère.

DU CHOIX DES FONTES ET DE LA PRÉPARATION QU'ELLES SUBISSENT.

529. Les fers fondus, pour être moulés, doivent avoir différentes qualités, d'après lesquelles ils peuvent être employés avec plus ou moins d'avantage, selon la nature et l'usage des pièces que l'on veut en obtenir. On fait subir aux fontes diverses préparations qui contribuent, soit à les purifier, soit à produire de l'économie dans le travail; nous diviserons donc, d'après ces considérations, ce que nous avons à dire sur la fonte, en deux paragraphes : 1° des différentes qualités de fontes et des usages qu'elles peuvent avoir relativement à leur qualité; 2° des préparations que le fer fondu éprouve avant d'être coulé dans les moules.

Des diverses qualités des fontes et des usages qu'elles doivent avoir relativement à ces qualités.

530. On a vu, dans la première partie de ce travail (74), que les fontes, relativement à leurs couleurs, pouvaient être divisées en trois classes : 1° blanches, 2° truitées, 3° grises; que les premieres contenaient ordinairement une combinaison ou une dissolution de fer, d'oxidule de fer, et de carbure de fer; les secondes une combinaison de fer, de carbure de fer, et d'une moins grande quantité d'oxidule de fer; les troisièmes une combinaison de fer et de carbure de fer en plus grande proportion, et d'oxidule de fer en moins grande quantité. Nous avons vu encore (76) que l'on ne pouvait pas toujours conclure la composition de la fonte, de la couleur qu'elle avait, parce que la rapidité ou la lenteur du refroidissement influait souvent sur cette couleur; que la

fonte qui contenait de l'oxidule et très-peu ou point de graphite, était toujours blanche, soit qu'elle fût refroidie lentement, ou qu'elle le fût rapidement; que les fontes qui contenaient deux centièmes de carbone et peu d'oxidule, pouvaient être blanches ou truitées selon la promptitude avec laquelle elles avaient été refroidies; que celles qui étaient promptement refroidies étaient blanches, et celles qui l'étaient lentement étaient truitées; que les fontes qui contenaient beaucoup de carbure de fer et très-peu d'oxidule, étaient d'autant plus noires, que leur refroidissement avait été plus lent, et d'autant plus blanches, qu'il avait été plus rapide.

On a vu encore (76) que les fontes blanches, quelle que soit leur composition, sont dures, cassantes, difficiles à travailler; qu'elles ne peuvent être entamées ni par la lime, ni par le ciseau; que les fontes grises, au contraire, sont douces, ductiles, attaquables au ciseau et à la lime, et que la fonte truitée a une ductilité moyenne entre ces deux variétés.

531. Le fer et le graphite, dans les fontes grises, sont deux substances qui ont de l'action l'une sur l'autre; le fer, en plus grande proportion, est le dissolvant, et le graphite la substance dissoute : si l'on compare l'action dissolvante du fer sur le graphite, à celle de l'eau sur plusieurs sels, on pourra se rendre raison de la différence de couleurs que l'on obtient par le refroidissement (1).

De même que l'eau échauffée, dissout beaucoup de nitre et l'abandonne en se refroidissant, de même le fer liquide très-échauffé, dissout beaucoup de graphite et l'abandonne en se refroidissant. Ainsi, lorsque fer liquide se refroidit lentement il abandonne peu à peu son graphite; celui-ci lorsqu'il a assez de masse pour vaincre la viscosité de la

(1) Monge croit que c'est le carbone pur qui se dissout dans le fer, lorsque ce métal est très-fluide, et que la combinaison du carbure de fer, connue sous le nom de *graphite*, ne commence à se former qu'au moment où le carbone doit être abandonné par le refroidissement du métal, parce que cette combinaison est plus dense et moins fusible que le fer.

fonte, se porte à la surface et la couvre d'une couche plus ou moins épaisse de cette substance onctueuse, qui noircit les doigts. Celui qui n'a pas assez de masse pour vaincre la viscosité du fer, reste, ainsi que les particules qui sont surprises au moment où elles se solidifient; le graphite reste donc entre les molécules qui l'ont abandonné et il les entoure. La fonte refroidie, solidifiée, et cassée, laisse apercevoir les couches de graphite abandonnées, avec la couleur qui leur est propre, et la cassure est plus ou moins noire, selon que la proportion de graphite qui entoure les molécules de fer, est plus ou moins grande.

532. La petite quantité de carbone, qui ne passe jamais 0,033 dans les fontes les plus carburées, ne pourrait, elle seule, en la supposant distribuée d'une manière uniforme dans la masse, produire la couleur grise foncée et souvent noire, que prennent les fontes carburées refroidies lentement : si cette distribution était supposable, on ne saurait plus se rendre raison de la blancheur que ces mêmes fontes affectent lorsqu'on les refroidit rapidement.

Dans la fonte fluide, les molécules de fer étant écartées, et le graphite, par une légère affinité pour elles, se trouvant disséminé également, sa couleur délayée dans une si grande masse, n'est pas sensible, et la fonte est blanche si le refroidissement s'opère avec rapidité, (car toutes les molécules saisies dans leurs positions n'en peuvent prendre d'autres); si le refroidissement au contraire, se fait avec lenteur, chaque molécule de métal se rapproche de toutes celles qui l'environnent, et leur affinité entre elles, plus forte que celle du fer pour le graphite, exprime le dernier qui vient à la surface du noyau; chaque molécule de fer en fait autant sur ses voisines, en sorte qu'après le refroidissement la fonte est composée d'une multitude de noyaux séparés les uns des autres par une couche de graphite formée par celui qui a suinté à travers chaque noyau. Le rayon de ces noyaux est d'autant plus grand, que le refroidissement a été plus lent, car leurs masses se comportent comme les molécules dont ils sont formés, jusqu'à ce que d'une part la cohésion qui augmente et diminue leur affinité, et de l'autre l'épaisseur de la couche de graphite qui se trouve augmentée par un suintement

nouveau et par la moindre surface qu'il recouvre, arrête leur mouvement; ainsi la couleur noire du graphite sera d'autant plus sensible, que le refroidissement aura été fait plus lentement: ce qui est conforme à l'expérience.

La différence de pesanteur spécifique entre le fer et le graphite ne peut avoir d'influence sur la séparation de ces deux substances, qu'à la surface de la fonte seulement, car cette différence doit avoir peu d'action dans l'intérieur, à cause de l'espèce de viscosité que la fonte conserve, même lorsqu'elle est dans l'état de fluidité la plus parfaite.

Si l'on vient à casser cette fonte, la séparation se fera dans le sens de la moindre résistance et toujours dans la couche de graphite, car bien que les noyaux de fer puissent s'attirer encore malgré cette substance (1), leur adhésion est cependant plus faible là que partout ailleurs. La cassure prendra donc la couleur grise du graphite. La même chose arrive lorsqu'on casse des poudingues à fragments dures et à pâte tendre.

La fonte naturellement blanche qui renferme jusqu'à 0,06 d'oxigène, doit se comporter, avec l'oxidule qu'il forme, comme la fonte carbonée avec le graphite; la couleur blanche de l'oxidule empêche que les effets ne soient sensibles à la vue.

533. Comme le graphite est plus léger que le fer, et qu'en se séparant de ce métal sa combinaison doit être moins intime, il semblerait que la fonte grise devrait être moins dense que la fonte blanche, surtout de la fonte blanche naturelle et obtenue par un refroidissement lent : ici l'expérience paraît être contraire à la conclusion que l'on serait porté à tirer de la densité du graphite et de sa séparation; car, d'après les observations de Bergmann, de Buffon, et de plusieurs autres métallurgistes, la fonte blanche est plus légère que la fonte grise.

---

(1) Il serait possible que la légère couche de graphite suffît pour empêcher l'attraction des molécules de fer, et que la résistance que l'on éprouve à les rompre ne fût occasionnée que par l'adhésion du graphite.

La densité de ces fontes, d'après Bergmann (1), est :

	Densité.	Pieds cubes.	Décim. cubes.
Fonte blanche pauvre	6601	462 liv.	6601 gr.
—— grise riche	6859	480	6859.
—— noire superfaturée	7262	508	7262.

D'après les expériences de Buffon, la pesanteur (2) est :

	Pieds cubes.	Décim. cubes.
Fonte blanche épaisse	457 liv.	6521 gr.
—— blanche fluide	462	6601.
—— grise	485	6921.
—— plus grise, tenue plus long-temps en bain	512	7330.

534. Un résultat beaucoup plus intéressant (puisqu'il contribue à donner à la fonte de fer la propriété de conserver avec plus de sûreté et de précision que la plupart des autres métaux, les empreintes des moules dans lequels on les coule) est celui que Réaumur a découvert, que toutes les fontes de fer ont, comme l'eau, la propriété d'augmenter de volume en se refroidissant (3). En effet, si l'on emplit de fonte liquide un creuset chauffé au rouge, et qu'en passant une règle sur ses bords, on en sépare, on en rejette tout ce qui excède ces mêmes bords, on remarque, lorsque la fonte est solidifiée, quelle qu'ait été d'ailleurs la lenteur du refroidissement, que la surface est devenue convexe, et qu'elle s'est élevée considérablement au-dessus du vase qui la contenait. En général la fonte grise monte plus que la fonte blanche.

Dans la crainte que l'on ne soupçonne que ce renflement soit occasionné par le retrait du creuset, Réaumur s'est assuré que la fonte solide surnage constamment sur la fonte liquide, quelque précaution que l'on prenne, soit en la plaçant sur le liquide, soit en la mettant au fond du creuset et versant en suite la fonte liquide par-dessus.

---

(1) Analyse du fer par Bergmann, traduite par Grignon, page 165.

(2) *Idem*, page 31.

(3) Mémoires de l'Académie des Sciences, page 276, année 1726.

Le cuivre, l'étain, le plomb, l'argent, l'or, diminuent constamment de volume en se solidifiant; il en résulte que ces métaux s'écartent, s'éloignent des faces du moule, lorsqu'ils sont prêts à se solidifier, et qu'ils en prennent bien moins l'empreinte que le fer, qui, au contraire, se renfle et conséquemment remplit jusqu'aux plus petits creux, et s'imprime jusque dans les plus petits détails.

Réaumur a remarqué que le zinc, le bismuth, et l'antimoine, jouissent, comme le fer et l'eau, de la propriété d'augmenter de volume en se solidifiant.

S'il existait des esprits inquiets, soupçonneux, qui, n'étant pas à même de répéter les expériences qu'on leur rapporte, ne croient aux résultats que lorsqu'ils peuvent en connaître les causes et qui en exigeassent en conséquence une explication, on pourrait leur observer : 1° que la fonte blanche naturelle (celle qui a été refroidie lentement) est toujours composée de lames superposées, qui laissent entre elles des vides plus ou moins grands; qu'ainsi il n'est pas étonnant qu'au moment où cette espèce de fonte se solidifie, le mouvement de ces lames, pour prendre l'arrangement cristallin que l'on observe, n'occasionne l'augmentation que l'on remarque; 2° que le carbone qui donne la couleur grise ou noire à la seconde espèce de fonte, étant dans un état de dissolution complète dans la fonte liquide, se sépare du fer, sous l'état de graphite, au moment du refroidissement, et qu'en sortant de son état de combinaison intime pour prendre celui de mélange, doit nécessairement augmenter le volume de la masse, en diminuant sa densité.

Le plus ou le moins d'augmentation dans le volume de la fonte blanche ou de la fonte grise, dépend de la différence qu'apporte dans le volume l'arrangement des particules et la séparation du graphite.

De la plus grande augmentation de volume de la fonte grise en se solidifiant, il semblerait que l'on devrait conclure qu'elle doit avoir une densité plus petite que la fonte blanche, cependant l'expérience a fait voir qu'elle était plus pesante. Pour satisfaire encore les personnes qui veulent absolument des explications, on pourrait attribuer cette différence : 1° à la combinaison de l'oxigène et du fer dans l'oxidule,

comparée à celle du carbone et du fer dans le graphite; 2° à la plus grande quantité d'oxigène que de carbone, puisque les fontes blanches contiennent au moins 0,06 d'oxigène, tandis que les fontes les plus grises ne contiennent que 0,03 de carbone; enfin, à l'arrangement des lames.

535. L'observation que l'on fait tous les jours sur la fusibilité de la fonte, celle que l'on fait en coulant le fer fondu dans les hauts fourneaux, présentent ce résultat : que les fontes grises sont celles qui coulent avec le plus de facilité, et les fontes blanches avec le plus de difficulté; enfin, que ces dernières se figent plus promptement que les premières.

De ces observations on serait porté à conclure que la fonte grise se liquéfie plus facilement que la fonte blanche; mais d'autres observations, faites sur les hauts fourneaux, font naître de l'incertitude; la première, c'est que lorsque l'on coule le fer cru à l'état de fonte blanche, le fourneau est ordinairement moins chaud que pour le couler à l'état de fonte grise; la seconde, c'est que, si en coulant la fonte grise, le fourneau n'est pas extrêmement échauffé, ou si on laisse la fonte trop long-temps en bain, et qu'elle puisse se raffiner, soit parce que son oxigène se combine avec du carbone, soit parce que son graphite se sépare, elle coule pâteuse et se durcit. Pour déterminer le rapport de fusibilité des trois espèces de fonte que l'on distingue, il faut donc faire usage d'observations nouvelles.

Ces observations nous les devons encore au célèbre Réaumur (1); ce savant laborieux a remarqué que les *fontes blanches de plusieurs fusions, sont plus faciles à fondre que les fontes grises.* En effet, lorsqu'il jetait dans son creuset des fragments de fonte de différentes couleurs, et qu'il essayait cette fonte en la coulant à mesure qu'elle fondait, il remarquait *que la fonte blanche, fondue la première, en sortait blanche et dure, et que ce qui restait à fondre dans le creuset, qui était la fonte grise, en donnait ensuite de douce :* mais ici ce savant modeste n'ayant fait d'ex-

---

(1) Art d'adoucir le fer fondu, 11[e] mémoire.

périences que sur les fers crus qui se liquéfient après avoir été fondus plusieurs fois, avoue ingénuement qu'il ne lui a pas été aisé de démêler, si les fontes naturellement blanches (celles que l'on obtient du haut fourneau, après un refroidissement lent) sont dans le même cas, quoique l'analogie conduise à le penser.

536. Les fontes naturellement grises donnent habituellement de la fonte douce, lorsqu'elles ont été refroidies lentement; cependant cette propriété qu'elles ont de produire de la fonte grise et douce, peut varier avec le mode de fusion que l'on emploie. Si la fonte reste long-temps en bain, il se sépare peu à peu une portion du graphite qu'elle contient; ce graphite monte à la surface; et si le régule de fer est fondu à découvert, et que l'oxigène qui touche la surface puisse avoir de l'accès sur lui, le charbon et le fer se brûlent, se séparent sous la forme d'acide carbonique, et la fonte devient blanche.

Réaumur avait remarqué depuis long-temps (1) que la fonte grise et douce, fondue dans de la poussière de charbon, conservait sa ductilité, tandis qu'elle la perdait lorsqu'on la fondait avec toute autre substance. La fonte conserve aussi un peu plus de sa ductilité en la fondant avec un verre terreux qui la préserve du contact de l'air, que lorsqu'on la fond à découvert, et cela parce que ce verre empêche l'oxigène d'agir sur la surface, et qu'il a de plus la propriété de la débarrasser de l'oxidule de fer, qu'il touche et qu'il dissout.

Les fontes grises, refondues sans les préserver du contact de l'air, blanchissent ordinairement à chaque fusion nouvelle, et en blanchissant elles acquièrent de la dureté et de la fusibilité; le degré de blancheur que les fontes acquièrent dans leur fusion, varie avec la nature de la fonte, le mode de fusion employé, et le temps qu'elles restent en bain. Chaque fonte grise obtenue peut et doit contenir des proportions de carbone différentes, et selon ces proportions, résister plus ou moins au blanchiment; les fontes obtenues des hauts fourneaux chauffés avec du charbon

(1) Art d'adoucir le fer, 10e mémoire.

de houille, dans lesquels le minérai reste 80 à 90 heures en contact avec le combustible, doivent être, et sont en effet, beaucoup plus carburées que celles qui n'y restent que 8 à 9 heures; aussi ces dernières se blanchissent-elles plus promptement et plus facilement que les premières.

537. Après avoir reconnu que la couleur des fontes n'était qu'un caractère indirect et qu'il se trouvait des fontes blanches qui devenaient douces et grises en les refondant (1), Réaumur a cherché un nouveau caractère pour distinguer les fontes, et il l'a pris dans leur tissu (2).

« Quelques-unes, (dit ce savant) semblent être composées de grains ou « de molécules, qui, à la vue simple, ont un air arrondi; et les autres, bien « observées, paraissent l'être de lames, on ne trouve point à leurs molé-« cules, la rondeur des molécules des premières; les *grainées* varient « par leurs grainures: quelques-unes ont de gros grains, pendant que « d'autres en ont de fins : les raisons de préférence d'une fonte sur une « autre, doivent donc être prises et de sa couleur et de sa *tissure*. Du « côté de la tissure, celles qui ont le grain le plus fin, le plus distant, le « mieux démêlé, le mieux arrondi, le plus approchant de celui d'un « acier trempé peu chaud, l'emportent sur les autres; et du côté de la « couleur, celles qui ont des nuances plus brunes sont plus faciles à « tenir douces. Les meilleures de toutes, ou au moins celles que l'on peut « fondre avec le moins de précaution, sans craindre de les rendurcir, sont « donc celles qui, étant très-noires, ont un grain très-fin et très-distinct; « mais de deux différentes fontes, dont l'une aura un gris plus clair et « sera mieux grainée, et dont l'autre sera plus noire avec des grains plus « gros et moins démêlés, on préferera celle de la plus parfaite grainure: « généralement parlant, on peut beaucoup plus compter sur le grain « que sur la couleur.

« Celles qui, bien considérées, semblent plutôt composées de lames « que de grains, sont inférieures aux grainées; mais entre celles-là, les

(1) Ce sont les fontes carbonées que l'on a fait refroidir lentement (76).

(2) Art d'adoucir le fer, 11[e] mémoire, ou troisième partie, 2[e] mémoire, §. 35.

« meilleures ont les lames plus fines, plus petites, plus détachées les « unes des autres; et les plus mauvaises de toutes ont des amas de « lames qui forment comme de gros grains applatis.

« Si celles qui n'ont que des lames ne sont pas d'un gris foncé, ou « très-brun, il sera toujours très-difficile d'en couler des ouvrages « limables.

« Quoiqu'on espère peu de celles qui, quoique extrêmement noires, « paraissent parsemées de brillants, en général, ces brillants, dans les « fontes grises, sont de mauvais indices. Si de plus les fontes noires « sont composées de gros grains applatis, elles sont les plus mauvaises « de toutes; des fontes d'un gris presque blanc vaudront souvent « mieux. »

Il résulte de tout ceci, que les fontes diffèrent entre elles par leur ductilité, leur fusibilité, leur retrait en se solidifiant, et leur dureté en les fondant plusieurs fois; que les plus douces ont une couleur grise ou noire, et un grain fin; que les plus fusibles ont une couleur blanche et un tissu lamelleux; que celles dont le volume augmente le moins en se solidifiant, sont les fontes blanches; et qu'enfin, celles qui conservent leur ductilité, en les refondant à plusieurs fois, ont la couleur la plus noire, avec le grain le plus fin.

538. En général, les fontes doivent varier relativement aux propriétés et aux qualités des pièces moulées que l'on veut obtenir. Très-souvent les pièces obtenues doivent être percées, limées, travaillées au ciseau et au tour, soit pour les réparer, soit pour les ajuster, soit pour les dresser et les polir; il faut, dans ce cas, que l'on fasse choix de la fonte qui, après avoir été coulée, ait le plus de molesse et de ductilité; conséquemment la fonte la plus noire avec le grain le plus fin: et, pour lui conserver cette ductilité, il faut que son refroidissement soit très-lent.

Toutes pièces qui peuvent être employées telles qu'elles sortent des moules, sans éprouver de réparations, sans être percées, doivent être coulées lorsque la fonte est très-liquide, afin que celle-ci prenne exactement l'empreinte des plus petits détails des moules; telles sont, par

exemple, les médailles, les petits bas-reliefs : la fonte blanche semblerait donc, dans cette circonstance, devoir être préférée à toute autre, à cause de sa facile liquéfaction; mais la forme lamelleuse que prennent les particules en se solidifiant, et la tendance qu'elles ont à se cristalliser, contribuent à produire des inégalités sur la surface, et à déformer les traits fins : aussi préfère-t-on, dans cette circonstance, la fonte truitée qui participe de la grande fusibilité de la fonte blanche, et qui jouit, de plus, de la propriété d'augmenter de volume en se solidifiant, et de conserver un grain fin et uniforme.

Il faut couler avec de la fonte blanche naturelle les pièces qui doivent être dures et inattaquables à la lime, comme les enclumes, les marteaux de forge, etc.; celles qui sont coulées avec de la fonte grise refroidie promptement, acquièrent bien de la blancheur et de la dureté; mais, en les chauffant, dans les diverses opérations qu'elles peuvent subir, elles reprennent leur grain, leur couleur grise, et leur ductilité.

539. Les fontes obtenues de différents minérais, soit pures, soit combinées avec diverses substances, ont souvent des propriétés dépendantes de ces substances, ce qui les rend propres ou impropres à produire du fer ou de l'acier de bonne qualité. Il est de l'intérêt des maîtres de forge, il est aussi de l'intérêt du Gouvernement, de ne laisser employer, à la fabrication des fers ou des aciers, que les fontes qui peuvent, par leur nature, en produire d'excellents; ainsi l'on devrait, autant qu'il est possible, destiner au travail des fontes moulées, tous les régules, toutes les gueuses, qui ne donnent que des fers cassants à froid, ou brisants à chaud.

Ce choix, dans l'usage des fontes, s'effectue déja dans plusieurs forges, dont les propriétaires ou les directeurs ont assez d'intelligence pour apprécier ce qui est le plus avantageux à l'intérêt de leur usine; il a encore lieu dans les pays où l'administration générale des mines est confiée à des hommes éclairés, et dans la sagesse desquels le Gouvernement a su placer sa confiance.

Les fontes de minérais qui produisent du fer cassant à froid peuvent être employées avec un grand avantage à la confection de la poterie de

fer, des ustensiles de cuisine, des cœurs de cheminée, des plaques, des poêles carrés, des poêles, des chaudières de toutes espèces de formes. Cette fonte, coulée en marchandises, jouit encore de deux avantages : le premier, c'est qu'elle n'exhale aucune odeur en la chauffant, qu'elle ne communique aucune saveur désagréable aux objets que l'on cuit dans les vases qui en sont formés; enfin, qu'elle ne noircit ni les sauces, ni les légumes; le second, c'est que l'espèce de minérai qui produit cette fonte, est d'une fusion facile, et que l'on en peut obtenir de la fonte blanche, propre à ces objets, avec la plus petite consommation possible de combustible. Il faut éviter d'employer cette fonte pour couler des pièces qui doivent avoir de la ductilité, parce qu'elle partage ordinairement la défectuosité, d'être cassante à froid, qui caractérise le fer que l'on en obtient.

On peut, sans inconvénient, employer les fontes des minérais qui produisent du fer brisant à chaud, à la fabrication de tous les objets qui doivent avoir de la ductilité, de la résistance, et qui doivent être travaillés, percés, ciselés, limés ou polis après la fonte, parce qu'en supposant que la fonte partageât cette défectuosité, elle n'aurait aucune influence sur l'usage des pièces fondues, qui ne doivent être ni chauffées au rouge, ni martelées à la forge après avoir été chauffées. On peut donc couler, avec cette espèce de fonte, des canons, des cylindres pour les laminoirs, des roues dentées, des balcons, des grilles, des portes grillées, de la coutellerie, et généralement tout ce qui doit être travaillé après avoir été fondu.

L'emploi de cette fonte, pour la fabrication des poêles, des ustensiles de cuisine, serait défectueux, en ce qu'elle exhale une odeur en s'échauffant; qu'elle noircit les aliments, et souvent leur communique une saveur étrangère et désagréable. Les minérais qui produisent ce fer, quoique assez fusibles ordinairement, doivent cependant être fondus avec peu de vent, pour que la fonte qui en provient soit très-carburée.

Les minérais, dont on obtient des fers qui sont à-la-fois cassants à froid et brisants à chaud, donnent une fonte qui n'est propre qu'à

très-peu d'usage; on ne peut et on ne doit couler avec celle-ci que des boulets et du lest pour les vaisseaux : les fontes pouvant être affectées des défauts des fers qui en proviennent, doivent les faire exclure d'un très-grand nombre d'objets moulés; cependant, quoiqu'il existe réellement des fers qui paraissent avoir les deux défauts, d'être cassants à froid et brisants à chaud, on pourrait se demander si les causes qui les produisent existent réellement dans les minérais, et s'ils ne sont pas le résultat d'un vice dans le travail qu'ils ont éprouvé; au reste, nous examinerons cette question en traitant du travail des fers.

Des préparations que les fontes de fer éprouvent avant d'être coulées dans les moules.

540. De toutes les opérations, celle qui a dû paraître la plus simple et la plus naturelle, celle qu'ont dû suivre et pratiquer d'abord tous les fondeurs de fer moulé, c'est de couler directement la fonte des hauts fourneaux dans les moules qui lui étaient destinés; c'est celle dont on a d'abord fait usage, et c'est encore celle que l'on pratique dans un grand nombre d'usines.

Lorsque les objets coulés en fonte moulée ont des formes et des dimensions semblables, et qu'ils peuvent être obtenus en grand nombre, tels que la poterie, les marmites, les poêles, les contre-cœurs de cheminées, on les coule directement des hauts fourneaux; mais lorsque les objets moulés ont tous des dimensions et des formes qui diffèrent et qui varient avec le besoin que l'on en a, et avec les usages auxquels on les destine, et que, de plus, ces pièces doivent être exécutées aussitôt que celui qui doit les employer a déterminé leurs formes et leurs dimensions, il faut refondre le fer crû dans des fourneaux particuliers; ainsi la fonte des roues d'engrenage et de toutes les pièces dont les mécaniciens et les ouvriers en fer peuvent avoir besoin instantanément, doit être liquéfiée dans des fourneaux particuliers; il faut des ateliers ou usines qui soient à la portée des ouvriers; et comme ceux-ci habitent ordinairement dans les grandes villes, il faut transporter les fonderies dans les cités.

Deux obstacles paraissent s'opposer à l'établissement des hauts fourneaux dans les villes très-peuplées, la crainte des incendies et la cherté des combustibles. Dans plusieurs circonstances, l'éloignement du minérai en forme encore un troisième; il est souvent plus économique, (et il est toujours plus prudent), lorsque l'on veut mouler et couler dans les grandes villes les pièces de fonte dont on a besoin, de faire venir la fonte ou la gueuse des hauts fourneaux, qui sont le plus à la proximité de la ville; le fer crû, fondu une seconde fois, acquiert souvent du liant qui le rend plus propre aux objets auxquels on le destine (72).

541. Dans les usines, où les fontes moulées se coulent directement des hauts fourneaux, on donne à leur creuset de plus grandes dimensions qu'à ceux qui coulent des gueuses, principalement dans le sens de leur longueur, et cela afin de pouvoir réunir plus de fonte devant la tympe, et de pouvoir l'y puiser plus facilement avec la poche.

Le travail du haut fourneau est le même, soit que la fonte doive être coulée en gueuse, soit qu'elle doive être coulée dans des moules; dans ce dernier cas elle doit être très-liquide. Ainsi la conduite du fourneau, par la quantité d'air que l'on y lance, et la proportion du minérai que l'on charge avec le combustible, dépend de la nature de la fonte que l'on veut obtenir et du minérai que l'on traite.

On coule dans les moules, soit par des rigoles, soit à la poche: la première méthode est assez généralement employée pour couler de grosses pièces dont on enterre les moules, ou pour couler à moule découvert : on se sert de la seconde pour couler de petites pièces dont on peut transporter les moules devant la tympe.

Pour couler en *rigole*, on perce le trou du chio, comme pour couler la gueuse; seulement il faut prendre toutes les précautions que les circonstances exigent pour empêcher les laitiers de couler, avec la fonte, dans les moules.

Il suffit souvent d'enfoncer, dans la rigole de la coulée, une plaque de fer qui n'atteigne pas le fond, afin d'arrêter la fonte et de la forcer de passer par la petite ouverture qu'elle laisse près du fond; les laitiers,

plus légers et qui surnagent, sont arrêtés sur la surface, et la fonte, plus pesante et qui se porte dans le fond, coule pure et sans mélange.

Lorsque la fonte doit remplir plusieurs moules, on la laisse couler d'abord dans l'un d'eux, en bouchant toutes les issues qui conduisent aux autres; aussitôt que celui-ci est plein, on ferme l'ouverture qui y communique, et l'on ouvre celle qui conduit à un autre moule, et cela successivement.

Le fondeur qui ouvre le trou du chio, doit retirer lentement et successivement son ringard de l'ouverture qu'il a faite; il doit le sortir avec précaution, afin de retenir la fonte et empêcher qu'elle ne sorte avec trop de rapidité et d'impétuosité.

On pratique toujours, dans les moules formés pour de grandes pièces, deux sortes d'ouvertures : les unes, par lesquelles la fonte arrive, les autres, par lesquelles l'air et l'humidité doivent sortir. Comme il se dégage beaucoup de gaz hydrogène carboné, il faut enflammer celui-ci, s'il n'est pas assez échauffé pour s'enflammer naturellement et instantanément. La flamme que l'on aperçoit est souvent un indice de la bonne qualité du moule; car, lorsqu'il se perce, et que la fonte coule dans la fosse, il est rare que cette flamme paraisse.

542. Pour couler à la poche, on arrange, comme on l'a dit précédemment, une masse de scories A, (planche 37), que l'on insère entre la tympe et le fond du creuset, afin d'y arrêter le laitier, et d'avoir toujours dans l'avant-creuset, de la fonte pure qui coule par-dessous ce laitier.

On appelle *poches* B, de grandes cuillers de fer que l'on enduit intérieurement et extérieurement d'une couche d'argile, que l'on fait sécher ensuite; cette couche préserve de l'action de la fonte liquide, le fer avec lequel ces cuillers sont formées : on puise la fonte avec ces poches pour la couler dans les moules, que l'on a placés à la proximité du creuset du haut fourneau.

Comme la chaleur du foyer est très-grande et que les fondeurs, en puisant la fonte, sont exposés à se brûler, ils ont soin de se couvrir les

bras d'une manche de toile mouillée, qu'ils placent du côté qui approche le plus du feu.

543. Un fourneau de 18 à 24 pieds de haut, produit ordinairement entre 30 et 80 quintaux de fonte en vingt-quatre heures. Le fourneau de Lichtenstein en Styrie, de 23 pieds 9 pouces de Vienne de haut, produit 30 quintaux de fonte en vingt-quatre heures, et celui d'Eisenartz, de 18 pieds de haut, en produit 80 dans le même temps : le fourneau de Vordernberg, qui a deux tuyères et 19 pieds de haut, coule 95 quintaux de fonte en vingt-quatre heures.

La fonte, en restant dans le creuset, s'y affine; elle devient pâteuse et s'y durcit (1) : on est obligé de la couler à des époques très-rapprochées. Il est des fourneaux dans lesquels la fonte se coule toutes les deux heures, dans d'autres toutes les douze heures : dans les premiers la masse de fonte obtenue pèse de 4 à 6 quintaux; dans les autres le poids des gueuses varie entre 15 et 25.

On donne aux creusets différentes dimensions, relativement à la quantité de fonte que l'on doit couler ; le plus communément leur capacité est de 4 à 6 pieds cubes; et, comme la fonte est ordinairement recouverte de quelques pouces de laitiers, il en résulte que les creusets ne peuvent retenir que 3 à 5 pieds cubes de fonte, laquelle à 5 quin-

(1) Ce durcissement paraît être occasionné par la diminution de l'oxigène. En laissant la fonte long-temps en bain, le carbone et l'oxigène, répartis inégalement dans la masse, se joignent peu-à-peu, lorsqu'ils se rencontrent; ils abandonnent le fer l'un et l'autre, pour se combiner et se dégager sous l'état d'acide carbonique ou d'oxide de carbone. Les laitiers en contact avec la fonte, exerçant d'un autre côté leur action sur l'oxidule de fer qu'ils rencontrent, le dissolvent aussi : ainsi l'oxigène, par ces deux causes, doit diminuer, et il diminue en effet d'autant plus que la fonte reste plus long-temps en bain. A mesure que cette diminution a lieu, la fonte approche successivement de l'état de fer; et, comme sous cet état elle exige une plus haute température pour être fondue, il en résulte qu'elle doit s'affiner et se durcir en restant long-temps en bain; et ce durcissement, lorsque le fourneau n'est pas assez chaud, peut faire engorger le creuset et forcer à *mettre hors*.

taux le pied cube (1), ou 7206 kilogrammes le mètre cube, produit une gueuse de 15 à 25 quintaux, ou de 730 à 1200 kilogrammes.

Tant que les pièces à couler n'excèdent pas 20 quintaux, on peut les obtenir d'un seul haut fourneau ; mais lorsque leur poids surpasse 25, il est difficile de rassembler assez de fonte dans un fourneau de 18 à 24 pieds de haut : quoiqu'il paraisse facile d'augmenter les dimensions des creusets, de leur donner une plus grande capacité, pour qu'ils puissent contenir plus de fonte, il serait dangereux d'accumuler plus de 25 quintaux, ou 1200 kilogrammes dans le creuset d'un fourneau ordinaire, parce que la fonte s'affinant par le long séjour qu'elle ferait dans le creuset, formerait des *renards* et pourrait contribuer à produire des engorgements.

544. On a vu précédemment qu'il fallait 25 quintaux, ou 1200 kilogrammes de fonte de fer pour couler une pièce de 6 à 9 liv. de balles, ou 13000 kilogrammes pour couler une pièce de 36. Les fourneaux ordinaires ne pouvant et ne devant accumuler dans leurs creusets, que 25 quintaux, ou 1200 kilogrammes de fonte au plus, ne peuvent et ne doivent couler que des pièces de 6 ; cependant on y coule des pièces de 18, ce qui serait extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, si l'on était obligé de couler d'un seul haut fourneau, des pièces aussi considérables.

Avant que les Anglais n'eussent été forcés, par l'usage qu'ils font du charbon de houille, à construire de très-hauts et de très-grands fourneaux, on ne connaissait d'autres moyens d'obtenir assez de fonte des hauts fourneaux, pour couler des pièces aussi fortes que celles de 18, que d'accoler deux fourneaux l'un contre l'autre. Depuis long-temps on fait usage en France, dans la fonderie de Ruelle, des deux fourneaux accolés C, pour couler de grosses pièces de fonte de fer; et les Suédois sont encore aujourd'hui dans l'usage de couler leurs grosses

(1) Quoique le poids du pied cube de fonte solide varie entre 450 et 510 livres, et celui du mètre cube entre 6500 et 7400 kilogrammes, nous avons cru devoir porter le poids moyen du pied cube à 5 quintaux, et celui du mètre cube à 7200 kilogrammes, parce que la fonte liquide est plus dense que la fonde solide.

pièces d'artillerie, en obtenant directement la fonte et en traitant leur minérai dans deux fourneaux accolés D.

Mais depuis qu'à l'imitation des Anglais, on a construit sur le continent de très-hauts fourneaux, dans lesquels on fond le minérai avec du charbon de bois, et parmi lesquels il en est, comme celui de Neviamskoï en Sibérie, qui ont 45 pieds de haut et qui coulent 650 quintaux de fonte en vingt-quatre heures, il est possible, en construisant dans ces fourneaux des creusets qui aient 22 à 24 pieds cubes de capacité, de rassembler 20 pieds cubes de fonte recouverte de 2 à 3 pieds cubes de laitiers, et de pouvoir, en conséquence, y couler des pièces de 36.

Dans les hauts fourneaux anglais, le minérai est réduit et fondu avec de la houille; la longueur du temps qu'il met à descendre le fait carboniser à un haut degré, et toute la fonte obtenue est très-noire; celle-ci quoique déja ductile, acquiert de la ténacité par une nouvelle fusion (72), et devient plus propre à la fabrication des canons. L'amélioration que la fonte anglaise obtient par ce second travail, a déterminé ces insulaires à refondre le fer cru dans d'autres fourneaux, et pour employer plus commodément leur houille à cette seconde fusion, ils y ont appliqué les fourneaux de réverbère, connus en Europe depuis des siècles; Agricola nous en avait même conservé quelques dessins.

545. Les premiers fourneaux à réverbère, ceux dont Agricola nous a transmis les dessins, étaient employés à affiner le plomb, pour en séparer l'argent; ils étaient principalement en usage au Hartz, et l'affinage se faisait avec de grosses bûches.

En 1696, on construisit à Schnéeberg en Saxe, un fourneau de réverbère pour séparer l'argent du cobalt (1); en 1698, un médecin anglais, chimiste, nommé Whrigt, fit construire un fourneau de réverbère pour fondre le plomb (2), à Fintshire, dans le comté de Galles; bientôt après on employa ce fourneau à Bristol, pour y fondre le cuivre; enfin, après

(1) Schlutter, 2ᵉ volume, page 118.

(2) *Idem*, page 114.

avoir incliné un peu la sole, pour que la fonte puisse s'écouler facilement dans le creuset, on l'appliqua, à Newcastle, à la fonte de fer en gueuse (1).

Les fourneaux de réverbère E, ont, à l'extérieur, la forme d'un parallelipipède rectangle, surmonté de deux prismes quadrangulaires posés l'un sur l'autre, et dans lesquels sont creusées les cheminées. Le muraillement est formé de pierres grosses et fortes, régulièrement posées les unes sur les autres; ce massif est lié avec des barres de fer pour le prémunir contre l'effort de la chaleur lorsqu'on l'échauffe.

Dans les premiers fourneaux, on entourait l'extérieur des murs avec des barres de fer fortement attachées et réunies les unes aux autres; aujourd'hui, dans plusieurs fourneaux anglais, on se contente de les lier avec deux barres de fer, seules, arrêtées à l'extérieur par des ancres; quelques fourneaux sont encaissés dans des plaques de fonte, maintenues par des brides et des boulons à clavettes (2).

L'intérieur du fourneau I se divise en deux parties : l'*aire*, la *sole* sur laquelle on fond, et le *foyer* dans lequel on place le combustible qui doit produire la chaleur nécessaire à la fusion.

La forme du foyer *a* est ordinairement celle d'un parallélogramme rectangle; celle de l'aire varie. Lorsque Jars et Duhamel voyagèrent en Angleterre, on faisait encore usage du fourneau F, G, H, que le médecin Whrigt avait imaginé; le vide était formé de quatre surfaces courbes, la projection horizontale, dans le sens de la longueur, représentait une espèce d'ellipsoïde C, dont on avait tronqué deux segments aux extrémités du grand axe; la projection verticale H, dans le sens de la largeur, était formée de deux arcs de cercle, et la projection verticale, dans le sens de la longueur F, avait sa partie supérieure horizontale, et sa partie inférieure inclinée et terminée par un creux qui formait le creuset.

---

(1) Voyage métallurgique, tome 1er, page 213.

(2) Annales des Arts et Manufactures, tome 14, page 226.

Cette forme a éprouvé des variations depuis. Les vides intérieurs des fourneaux de réverbère, construits en France, représentent dans leurs projections horizontales un trapèze *a*, figure I, qui se rétrécit vers le creuset; la projection verticale, dans le sens de la largeur K, est un rectangle, les angles rentrants sont un peu arrondis par le haut; la projection verticale, dans le sens de la longueur L, est composée d'une droite inclinée vers le bas, terminée par un cavité qui forme le creuset, et par une courbe dans la partie supérieure. Enfin, les fourneaux dont on fait maintenant usage en Angleterre, ont leurs projections horizontales M, formées de deux trapèzes séparés par un rectangle; la projection verticale dans le sens de la largeur, est un rectangle K, dont les angles rentrants sont arrondis dans la partie supérieure, et la projection, dans le sens de la longueur N, est, comme dans le fourneau français, composée d'une droite inclinée dans la partie inférieure, terminée par une cavité servant de bassin de réception : la partie supérieure est courbe.

Le vide des cheminées E, O, a la forme d'un prisme quadrangulaire de 35 à 45 pieds de hauteur; dans quelques-uns, la longueur et la largeur sont égales dans toute leur hauteur; elles ont l'une et l'autre 20 à 24 pouces de côté; dans d'autres, la longueur est plus grande que la largeur; le produit des deux dimensions, donne une surface de 3 à 4 pieds carrés.

L'ouverture de la cheminée, dans l'intérieur du fourneau O, celle par laquelle la flamme entre dans le tuyau, enfin la partie inférieure est rétrécie de la moitié au moins, dans le sens de la longeur du fourneau, ou de la largeur de la cheminée; ce rétrécissement détermine un tirage plus fort et plus considérable.

Si l'on veut obtenir un tirage qui soit encore plus fort, il faut augmenter la longueur des cheminées : on peut leur donner jusqu'à 100 pieds et plus de hauteur. Mais ces sortes de cheminées exigent beaucoup de soin dans leur construction, afin qu'elles puissent résister à l'action du vent, qui fait des efforts continuels pour les renverser.

546. Ces trois sortes de fourneaux présentent un résultat commun; c'est qu'ils vont en se rétrécissant continuellement dans l'intérieur jus-

qu'au creuset, d'où la flamme s'élève ensuite pour s'échapper par la cheminée. La flamme, resserrée par la diminution du vide intérieur, se concentre davantage, et cette concentration se trouve encore augmentée par le rétrécissement de l'ouverture de la cheminée ; ainsi, quoiqu'une partie de la chaleur soit absorbée en parcourant l'espace compris entre le foyer et le creuset, la concentration de la flamme et de la chaleur rayonnante permet à la température d'être encore très-forte, lorsqu'elle arrive au creuset.

La forme intérieure du fourneau oblige donc la flamme de se diriger vers le creuset et de se réfléchir sur la surface de la sole, pour pouvoir gagner le tuyau et s'échapper par la cheminée.

Dans tous les fourneaux, il existe au-dessous de la grille du foyer P, un vide par lequel l'air arrive pour traverser le combustible et entretenir la combustion : on descend, dans ce vide inférieur, par un escalier, soit pour dégager la grille des *escarbilles* (1) de la houille, en partie brûlée, et qui l'obstrue, soit pour sortir les cendres et les escarbilles tombées dans ce vide, et le nettoyer.

Dans un grand nombre de fourneaux, l'aire est placée sur un massif de maçonnerie Q ; dans d'autres, sur une voûte R, construite dans le sens de la longueur ou de la largeur. Cette voûte facilite l'évaporation de l'humidité. Dans quelques fourneaux, la sole est posée sur une plaque de fonte S, que l'on retire, lorsque l'on veut sortir le sable qui la compose ; celui-ci tombe dans le vide qui existe au-dessous.

On construit, en briques très-réfractaires, la chemise intérieure de ces fourneaux ; elle doit être, comme dans les hauts fourneaux, distincte et séparée du muraillement extérieur, afin de pouvoir la défaire et la reconstruire, sans déranger le massif, lorsqu'elle a été trop fortement attaquée par l'action du feu.

La sole sur laquelle la gueuse fond et coule, est de sable fortement

(1) On appelle *escarbilles* des portions de houille à moitié brûlée, qui passent à travers les barreaux de la grille du foyer. Ces escarbilles sont ramassées avec soin, et les plus grosses sont brûlées dans des foyers, comme du charbon de houille.

battu; celui-ci doit être assez réfractaire pour supporter la haute chaleur de ces fourneaux, sans se fondre, et assez fusible pour se prendre en masse à la surface, et se couvrir d'un léger enduit vitreux.

En coulant sur cette surface, la fonte la corrode et la ronge : partout où il se trouve du sable avec de l'oxide de fer fondu, il facilite sa fusion et il se combine avec lui; cette corrosion détruit promptement la sole, et nécessite de fréquentes réparations, dont les intervalles sont d'autant plus éloignés, que le sable est de meilleure qualité (1).

Quant aux dimensions des fourneaux de réverbère, elles doivent varier avec la quantité de gueuse que l'on veut fondre. Les fourneaux qui fondent 45 à 50 quintaux, ont ordinairement 33 à 36 décimètres de longueur de sole, 9 à 10 décimètres de largeur moyenne, et entre 18 à 20 décimètres dans leur plus petite largeur; la hauteur du vide est d'environ 8 décimètres; le foyer peut avoir de 140 à 150 décimètres carrés de surface; enfin, l'inclinaison de la sole varie entre les deux et les trois dixièmes de la longueur.

Les dimensions extérieures de ces fourneaux sont de 45 décimètres de longueur, 25 de largeur et 23 de hauteur au-dessus du sol; la profondeur de la cuve est ordinairement de 22 décimètres.

Dans les petites usines, celles où l'on fond peu de gueuse, où les pièces moulées ne pèsent jamais plus de 40 à 50 quintaux, tout compris, les fourneaux sont simples; dans les usines plus considérables, dans celles où l'on coule des pièces qui pèsent plus de 50 quintaux, les fourneaux sont doubles A, (planche 38), c'est-à-dire, que l'on en réunit, que l'on en accole deux l'un contre l'autre. Il résulte de cet accouplement un peu d'économie dans le combustible, lorsque les fourneaux fondent ensemble; et il est plus facile de réunir les jets, les coulées, lorsqu'ils doivent concourir tous les deux à la production de la fonte qui doit remplir le moule.

---

(1) Le choix du sable employé sur la sole, est un des objets le plus essentiel dans la construction des fourneaux de réverbère.

Chaque fourneau a trois ouvertures : une devant *a*, et deux latérales *b*, *c*. L'ouverture de devant sert à regarder dans le fourneau, à brasser la matière lorsqu'elle doit être travaillée, et à prendre des essais pour juger de son état : les ouvertures latérales correspondent, la première *c* au foyer ; elle sert à charger la houille, le combustible que l'on y brûle ; la seconde correspond à la sole, elle est placée très-près du foyer ; c'est par cette ouvertnre que l'on entre la gueuse dans le fourneau, et qu'on la charge. Cette ouverture se ferme par une porte en briques *a*, figure E, (planche 37), arrangée et maçonnée dans un châssis de fer ; cette porte est soulevée à l'aide d'une potence : on bouche, avec de l'argile, toutes les fentes, toutes les *scissures* qui peuvent rester lorsqu'elle est fermée.

547. Les fourneaux fraîchement construits, ceux dont on a refait la sole, ou ceux que l'on a laissé refroidir, doivent être chauffés avant de les charger, parce que la gueuse, pour être bien liquéfiée, et pour qu'elle produise le moins de déchet, doit être rougie et fondue promptement. L'air, en passant à travers les charbons, n'abandonne pas tout son oxigène ; celui qui traverse le fourneau, pour s'échapper avec la flamme par la cheminée, touche, caresse, lèche la fonte en passant, et y dépose une portion de l'oxigène qui lui est restée. Cette substance produit deux effets différents qui varient selon la nature de la fonte. Si le fer crû est très-carburé, l'oxigène se combine avec le carbone ; une petite épaisseur de la surface du fer crû s'affine, la fonte se réduit, sa fusibilité diminue, elle se transforme en fer, et devient malléable. Ce fer, qui reste sur la sole, est connu des fondeurs sous le nom de *carcas*. Si la gueuse contient peu de carbone, le fer s'oxide et devient plus fusible ; mais la fonte obtenue est blanche, dure, cassante, et ne peut plus être travaillée. Comme il se réduit d'autant plus de fonte, et que l'on obtient d'autant plus de *carcas*, que la fonte est plus de temps à se liquéfier, il s'ensuit que l'on doit liquéfier le régule avec la plus grande promptitude, lorsque c'est de la fonte liquide que l'on se propose d'obtenir (1).

(1) Nous verrons par la suite, en traitant de l'affinage du fer dans des fourneaux de

Ainsi, en mettant un fourneau de réverbère en travail, la première opération est de le fermer, ensuite on remplit son foyer de houille que l'on allume. Bientôt la flamme paraît, elle traverse le fourneau, et sort par la cheminée; au bout de soixante à quatre-vingt-dix minutes le fourneau est rouge; la flamme intérieure est blanche; la sole est affermie; on peut charger en gueuse (1). Alors le fondeur soulève la bascule, ouvre la porte, place la fonte sur l'autel, et ferme l'ouverture. La gueuse, continuellement caressée par la flamme qui s'échappe du foyer, s'échauffe, rougit, blanchit, s'amollit, et se liquéfie; des gouttes de métal tombent sur la sole, se réunissent ensemble, et coulent en petits filets qui vont se rassembler dans le creuset; le bain augmente et il se couvre d'une légère épaisseur de scories, qui préserve ce fer de l'action de l'air. Ces scories proviennent 1° de la petite quantité de verre terreux que la gueuse retenait, et qui s'est augmentée de l'oxidule qui s'est formé et qu'elle a dissous; 2° du sable de la sole, fondue par le fer oxidulé, et qui se combine avec lui, lorsque les petits filets coulent sur le sable.

Tant qu'il reste de la fonte liquéfiable, les filets de fer liquide continuent à se diriger et à se réunir dans le creuset. Lorsque tout est fondu, on doit aussitôt couler le métal, soit en perçant le trou du chio avec un ringard, soit en puisant la fonte avec des poches pour la porter dans des moules. Si la fonte restait dans le creuset, elle s'y affinerait, s'y durcirait, perdrait peu-à-peu de sa fusibilité, et ne serait plus propre à être coulée.

548. Comme la fonte se refroidit et se solidifie très-promptement lorsqu'on la puise avec la poche, on évite cet inconvénient en la rece-

---

réverbère, qu'il suffit, dans quelques circonstances, de tenir la gueuse long-temps échauffée, sans la fondre, pour réduire la plus grande partie du régule en carcas ou en fer affiné, qui peut être porté de suite sous les machines de compression; et ce procédé est, à quelques modifications près, celui qui fut employé d'abord par M. Sabathier, dans le département de la Nièvre.

(1) Lorsque le fourneau a déja été chauffé, on peut charger la fonte avant de mettre en feu; mais on court la chance d'obtenir une plus grande masse de *carcas*.

vant d'abord dans une grande chaudière B, (planche 38), que l'on a entièrement enduite d'argile, comme cela se pratique pour les cuillers de fer appelées *poches*. Cette chaudière est enveloppée d'un châssis de fer, réuni à une grande barre, avec laquelle on peut l'enlever par le moyen d'une *grue* C et d'une *moufle* D, et la manœuvrer commodément.

Les moules se placent dans un arc de cercle *a, b,* dont le pied de la grue C est le centre; on transporte la chaudière, pleine de fonte liquide, au-dessus de chacun d'eux; alors les ouvriers qui la suivent l'inclinent au-dessus des moules, à l'aide de grands léviers, et ils les emplissent les uns après les autres.

Quelle que soit la nature de la fonte que l'on coule, après l'avoir liquéfiée dans les fourneaux de réverbère, elle se détériore toujours à chaque fusion; de noire qu'elle était dans l'origine, elle devient grise, truitée, puis blanche.

En liquéfiant ainsi la gueuse, il se produit un déchet qui varie entre 8 et 20 pour 100. Plus la fonte est carburée, moins le déchet est grand: il augmente avec la diminution du carbure de fer et le blanchiment de la fonte.

549. On consume, pour échauffer les fourneaux, des quantités de houille plus ou moins grandes; celle que l'on emploie ensuite, pour fondre le fer cru, varie selon la nature de la houille et la fusibilité de la gueuse. En Angleterre, on compte sur trois parties de bonne houille, pour en liquéfier quatre de fonte, et souvent même poids pour poids (1). En 1765, on consumait, à Newcastle, une partie de houille pour en fondre deux de gueuse (2). Dans les expériences que nous avons faites au Creuzot, avec Ramus, en 1796, nous avons fondu vingt-cinq parties de gueuse en cent vingt minutes, avec vingt-deux parties de houille du Creuzot; nous avons fondu la même quantité de gueuse, en cent cinq minutes, avec dix-huit parties de houille de Blangis.

(1) Journal des Arts et Manufactures, tome 14, page 233.

(2) Voyage métallurgique, tome 1er, page 215.

Lorsque l'on fond du fer cru au fourneau de réverbère, il est de l'intérêt des propriétaires des usines, de ne mettre leur fourneau en feu que lorsqu'ils ont plusieurs fontes à faire successivement; car le combustible qu'il faut brûler pour échauffer le fourneau à la première fusion, est autant d'économisé dans celles qui suivent; il est donc bon que le fourneau puisse aller, au moins, pendant une semaine, si la sole le permet, et qu'il puisse fondre jour et nuit.

550. Avant l'invention des fourneaux de réverbère, on fondait la gueuse dans de petits fourneaux portatifs, d'où elle était ensuite coulée dans des moules.

Il paraît que les petits fourneaux étaient connus et employés en France depuis long-temps; on les appelait *fourneaux à poches,* ou *fourneaux à manches.* Le célèbre Réaumur décrit, dans son excellent Traité d'adoucir le fer (1), les fourneaux à poches E, qui existaient de son temps, et qui étaient employés, soit par les fondeurs établis à demeure dans les villes, soit par les fondeurs ambulants qui parcouraient les villes et les marchés, et qui coulaient, sur les places publiques, les objets de fonte de fer qu'on leur commandait.

Ces fourneaux étaient composés d'un fond de marmite *a,* qui servait de creuset ou de poche, et que l'on enduisait intérieurement et extérieurement d'argile réfractaire : on laissait saillir les angles de la marmite, pour la soulever et la transporter; d'autres marmites sans fond, et couvertes également d'argile, se plaçaient sur la première *b,* et formaient la cheminée ou le manche du fourneau; une ouverture circulaire *c,* faite à la jonction du creuset et de la cheminée, servait à fixer une tuyère dans laquelle on plaçait les buses de deux soufflets.

On emplissait le fourneau de charbon de bois, que l'on allumait pour l'échauffer : deux hommes faisaient mouvoir les soufflets pour donner de l'activité au feu et rougir les parois du fourneau; on chargeait les morceaux de gueuse, avec les charbons, par le gueulard; ils s'échauf-

(1) Deuxième mémoire, §. 52.

faient, rougissaient, fondaient et tombaient dans le fond du creuset où la fonte liquide s'accumulait.

Dès que l'on avait fondu la quantité de gueuse que le creuset pouvait contenir, et que le charbon était descendu, on arrêtait les soufflets, on défaisait la tour ou le manche du fourneau, on accrochait le creuset par les anses, on le soulevait et on le transportait sur les moules dans lesquels on coulait le métal.

Comme la cheminée du fourneau se refroidissait en la séparant du creuset, et qu'il fallait consumer du combustible pour la chauffer avant de fondre de nouveau, Réaumur imagina un autre fourneau F (1), qui ne diffère du premier qu'en ce que la cheminée est fixée sur le creuset; que tout le fourneau est élevé au-dessus du sol, qu'il est suspendu sur deux tourillons, et que l'on peut couler la fonte en l'inclinant: ce fourneau est placé sur un châssis roulant.

Les fourneaux à manches ont des avantages et des inconvénients que ne partagent pas les fourneaux à réverbère; ils ne peuvent couler que de petites pièces; et les fourneaux de réverbère peuvent en couler de très-grosses. Mais aussi la gueuse que l'on y fond, étant en contact avec le charbon, s'y détériore beaucoup moins que dans les fourneaux de réverbère.

Toutes les fois qu'on doit couler de très-grandes pièces, ou que l'on doit en couler un très-grand nombre, il faut préférer le fourneau de réverbère, comme pouvant liquéfier plus de fonte à-la-fois; mais lorsqu'on ne doit couler que de petites pièces, et que la fonderie n'a pas une grande activité, il est préférable de fondre dans des fourneaux à manche.

On a agrandi de nouveau les petits fourneaux qui existaient du temps de Réaumur, et l'on trouve aujourd'hui, dans presque toutes les usines sédentaires, dans lesquelles on coule de la fonte moulée, provenant de la gueuse refondue, les deux sortes de fourneaux dont on fait

---

(1) Art d'adoucir le fer fondu, 2[e] mémoire, §. 74 et suiv.

usage; savoir : les fourneaux de réverbère, pour les grandes pièces, et les fourneaux à manches, pour les travaux ordinaires.

Les petits fourneaux à manches qui avaient, du temps de Réaumur, 18 à 24 pouces de hauteur, sur 6 à 8 pouces de diamètre intérieur, ont été augmentés jusqu'à 6 pieds de hauteur et 16 pouces de diamètre intérieur, ils sont construits dans un cylindre de fonte G, de 42 pouces de diamètre, comme à Glaiwitz (1), dans la haute Silésie, ou dans une enveloppe hexagonale H, formée de 6 plaques de fonte de 18 à 32 pouces de large, comme ceux des fondeurs de Paris; l'intérieur est revêtue d'une maçonnerie en briques réfractaires, ou seulement avec des terres réfractaires fortement comprimées à la manière du Pisé.

On donne communément aux cheminées intérieures, aux vides dans lesquels on brûle le combustible, la forme d'un cylindre ou d'un cône tronqué; leur hauteur est de 4 à 5 pieds; le diamètre du cylindre est de douze à quinze pouces; le diamètre inférieur du cône tronqué a 2 ou 3 pouces de plus que le diamètre supérieur. On conserve deux ouvertures dans la partie inférieure : l'une a quelques pouces au-dessus du fond du creuset, pour placer la tuyère; l'autre, dans le fond même du creuset, pour couler la fonte.

C'est en brûlant du charbon de bois ou du charbon de houille que l'on produit, dans les fourneaux à manches, la chaleur qui leur est nécessaire; on accélère la combustion par des soufflets, que des hommes, des chevaux, ou un courant d'eau, font mouvoir; il serait plus économique, dans les grandes villes, où les machines soufflantes sont mues par des hommes, d'employer des cylindres à pistons, parce que ce sont celles qui produisent la plus grande quantité d'air avec le plus petit effort.

La fonte acquiert beaucoup de fluidité dans ces sortes de fourneaux.

551. Dans des essais que nous fîmes au Creuzot, avec Ramus, en 1796, nous fondîmes 1000 livres de fonte de fer avec 200 livres de charbon de houille du Creuzot. Comme la houille perdait 50 pour

(1) Journal des Mines, tome 14, page 463.

100, en la carbonisant, c'est quatre parties de houille pour dix de fonte; il y a donc économie de combustible dans cette circonstance; il y a aussi économie dans le déchet, car il ne s'élève ordinairement, lorsque la gueuse est de bonne qualité, qu'à 7 pour 100, et la fonte obtenue est plus grise et plus carburée. La fonte qui provient de la gueuse, refondue dans les fourneaux à manche, est ordinairement d'une meilleure qualité que celle qui provient d'une nouvelle fusion dans les fourneaux de réverbère.

552. Depuis long-temps les fondeurs de cuivre fondent de la gueuse dans les mêmes creusets et dans les mêmes fourneaux où ils fondent leur cuivre, seulement ils sont obligés de laisser les creusets un peu plus long-temps exposés à l'action du feu (1), à cause de la plus haute température qu'il faut donner au fer (2). Des expériences faites chez l'ingénieux fondeur Brezin, pour comparer le temps qu'exige chaque fonte, ont donné ce résultat : qu'un fourneau qui faisait par jour douze fontes de cuivre, de chacune 35 livres, ne faisait que huit fontes de fer, de chacune 36 livres.

Il serait peut-être difficile, aujourd'hui, de savoir laquelle des deux méthodes de refondre la gueuse est la plus ancienne, de la fusion dans des creusets, ou de la fusion dans des fourneaux à poche ou à manche. Toutes les présomptions sont en faveur de la première.

Si l'on ne veut couler que de petits objets, et en petite quantité, il est plus avantageux, dans beaucoup de circonstances, de fondre la gueuse dans des creusets. Lorsque l'on ne veut faire que des essais, cette méthode est toujours préférable.

Il existe plusieurs fonderies où la gueuse est liquéfiée dans des creusets; telles sont celle de M. Dubois, à Lyon, et celle de MM. Delaunay et Perrier, à Paris, etc.

---

(1) Art d'adoucir le fer fondu, 2e mémoire, §. 40.

(2) Le cuivre se fond au 27e degré du pyromètre de Wedgwood, et le régule de fer au 130e.

Les creusets dont on fait usage, sont les mêmes que ceux que l'on emploie à la fonte du cuivre; ils peuvent également servir plusieurs fois, c'est-à-dire, que l'on peut faire, dans un creuset, plusieurs fontes successives. Ils peuvent contenir de 30 à 60 livres de fonte liquide; ceux que les fondeurs de Paris emploient et qui résistent à l'action du feu et des fondants, viennent des fabriques de poterie des environs de Saint-Quentin, dans la ci-devant Picardie; les creusets de Hesse, ceux de Plombagine, réussissent également bien. Souvent il est bon, avant de les employer, de les couvrir extérieurement d'une légère couche d'argile réfractaire, pour diminuer leur fusibilité.

553. On donne aux fourneaux, dans lesquels on place les creusets pour liquéfier la fonte, la forme d'un prisme rectangulaire, ou d'une pyramide quadrangulaire tronquée. Dans les premiers, la combustion est accélérée par le vent d'un soufflet, c'est le fourneau des fondeurs ordinaires; dans les seconds, l'air arrive seul et naturellement sous la grille; c'est le fourneau à vent de Marquer, dont on se sert à la monnaie.

Les fourneaux prismatiques et à soufflets I, ont 20 à 24 pouces de hauteur et 7 à 9 pouces de côté; une grille placée à la moitié de la hauteur, divise le prisme en deux parties égales; le dessus forme le foyer, et le dessous le cendrier. La buse du soufflet est placée dans le cendrier, c'est-à-dire, immédiatement au-dessous de la grille.

On place le creuset vide sur la grille; on le chauffe lentement et graduellement; lorsqu'il est rouge, on le remplit de fragments de la fonte qui doit y être liquéfiée; on le couvre, on remplit le fourneau de charbon, on le ferme et l'on fait jouer les soufflets, afin d'obtenir une très-haute température. Quelquefois, mais rarement, on couvre la fonte avec du verre de bouteille, que l'on ajoute comme fondant, mais qui ne sert réellement qu'à préserver la fonte du contact de l'oxigène.

Les fourneaux pyramidaux K ont environ 12 pieds de hauteur, 6 pouces de côté dans le fond, et 10 pouces dans la partie supérieure. Au-dessous du fond est une voûte *a*, ou seulement une ouverture, par laquelle l'air arrive sur la grille pour entretenir la combustion. Ce four-

neau est fermé par une porte oblique *b;* un tuyau *c* est placé par le côté pour donner issue à l'air brûlé. Plus le tuyau est élevé, mieux le fourneau tire; plus il s'échauffe, et plus sa température intérieure s'élève.

Après avoir placé le creuset sur la grille, l'avoir échauffé avec précaution, et l'avoir rempli de fonte, comme dans le cas précédent; enfin, après l'avoir couvert pour le préserver de l'air, on emplit le fourneau de charbon, et l'on ferme l'ouverture.

Dans l'usine des frères Perrier, célèbres par les perfectionnements qu'ils ont introduits en France, dans l'art de traiter la fonte moulée, on liquéfie la fonte dans des fourneaux Marquer, ou à courant d'air.

554. On consume communément 110 livres de houille moyenne pour liquéfier cent parties de fonte dans des creusets; cent parties de gueuse fondues dans des creusets, placés dans des fourneaux à soufflets, ont consumé, dans l'Arsenal de Paris, 85 livres de charbon de bois.

DES RÉPARATIONS QUE DOIVENT ÉPROUVER LES FONTES MOULÉES.

555. Plusieurs fontes sont employées sans aucune préparation et dans l'état où elles sont en sortant des moules; on casse simplement les jets qui restent attachés aux pièces : tels sont les cœurs de cheminées, les plaques de poëles, les marmites, les poteries de fer, les barreaux, etc., d'autres sont ébarbées, réparées, percées, dressées, tournées, calibrées, après leur sortie des moules : tels sont les roues d'engrenage, les canons, les cylindres de laminoir, les grands cylindres de machines à vapeur, etc.

On peut couler avec toute espèce de fontes, les pièces moulées qui ne doivent être ni réparées, ni travaillées, en sortant des moules; on peut aussi les laisser refroidir promptement; mais celles qui doivent subir une réparation ou un travail, après leur sortie du moule, doivent être coulées avec une fonte qui ait de la douceur, afin qu'elle puisse céder à l'action de la lime, du ciseau, du foret, et des autres instruments; conséquemment elles doivent être coulées avec une fonte grise.

Il ne suffit pas, pour obtenir ces sortes de pièces, de liquéfier de la fonte grise et douce, il faut encore avoir soin, en la fondant, d'éviter qu'elle ne s'oxide au point de se durcir et de devenir intraitable; il faut encore éviter un refroidissement brusque, qui la blanchirait et la durcirait.

Les fontes qui ne deviennent blanches que par un refroidissement brusque, et qui retiennent encore la proportion de graphite propre à leur donner de la douceur et du liant, peuvent reprendre, en les chauffant et en les recuisant, la ductilité, la ténacité et la mollesse qui les rendent susceptibles de pouvoir être travaillées.

Celles qui sont blanches naturellement, et par défaut de graphite, ne peuvent acquérir la douceur et le liant qui permettent de ne les travailler qu'en les cémentant et en faisant pénétrer dans leur intérieur, la proportion de graphite, à l'aide de laquelle elles acquièrent la ductilité qui leur est nécessaire.

556. On doit au célèbre et infatigable Réaumur, la connaissance des procédés, à l'aide desquels on peut donner au fer fondu les qualités, la douceur, la ductilité qui les rendent propres à être travaillé, et les expériences si exactes et si intéressantes, qu'il a publiées dans son immortel ouvrage sur l'art d'adoucir le fer fondu, n'avait pour objet que ce seul résultat.

Toute fonte qui n'est blanchie et durcie que par le refroidissement, reprend sa couleur grise et sa douceur en la chauffant au rouge-blanc, et en la laissant ensuite refroidir lentement.

Il y a, en la chauffant, deux précautions à prendre; il faut éviter, 1° que le fer cru ne s'oxide en s'échauffant; 2° qu'il ne se liquéfie. Le fer, exposé à nu à l'action du feu et de l'air, qui entretient la combustion, s'oxide à la surface; il s'y forme de petites écailles d'oxidules, qui se détachent après le refroidissement et qui déforment les reliefs que l'on avait obtenus. Pour empêcher le fer de s'oxider, il faut, ou le couvrir, ou l'environner de substances qui le préservent de l'action de l'oxigène. Réaumur y est parvenu de deux manières : 1° en plaçant ses pièces dans des creusets ou dans des caisses, et en les environnant

soit de charbon, soit d'un mélange de charbon et de poudre d'os ; 2° en les couvrant d'une couche un peu épaisse de plombagine, qu'il délayait dans l'eau, et dont il enduisait les pièces avec un pinceau (1).

La première méthode était incommode, elle ne pouvait être pratiquée qu'à l'égard des petites pièces ; la seconde présentait plus d'avantage ; on pouvait placer de grandes pièces ainsi enduites dans des fourneaux de réverbère, et les exposer directement à l'action de la chaleur, de la flamme, et de l'air qui traverse le fourneau. Ce savant a même construit un fourneau particulier pour cette cuisson.

Dans quelques endroits on chauffe aujourd'hui les fontes de fer dans de grands fourneaux, en les stratifiant avec de la sciure de bois ; celle que l'on préfère est la sciure de bois blanc.

En chauffant la fonte carbonnée, elle se raffine, probablement parce que le graphite se répand plus uniformément, et que son charbon se combine avec le peu d'oxigène qu'elle est susceptible de retenir encore.

557. Réaumur ayant observé que la fonte blanche chauffée, soit dans des creusets avec un mélange de poudre d'os (2), soit dans un foyer après l'avoir recouvert d'une couche de graphite (3), prenait un grain et une *tissure* particulière, chercha à déterminer la marche et la progression de ce changement ; il remarqua assez généralement 1° que la surface de la fonte se parsemait d'abord de petits grains gris qui allaient en augmentant jusqu'à ce que l'enveloppe extérieure fût raffinée, et que l'on aperçût, d'abord, dans la cassure, un cordon très-gris ; ces grains se propageaient ensuite de la circonférence vers le centre, qui, enfin devenait gris lui-même ; 2° que le premier cordon, formé d'abord de grains gris, se blanchissait peu-à-peu, s'allongeait en même-temps et se changeait en lames *ferreuses ;* que ce changement se propageait égale-

---

(1) On peut également les enduire d'une couche de noir d'imprimeur en taille-douce ; il paraît même que cet enduit est beaucoup préférable à celui de plombagine, employé par Réaumur.

(2) Art d'adoucir le fer fondu, 1re partie, 5e mémoire, §. 187.

(3) *Idem*, 2e partie, §. 15.

ment de la surface au centre; 3° que la fonte acquérait de la malléabilité, en prenant des lames, et qu'elle devenait susceptible de se forger comme le fer; 4° enfin, que la fonte grainée et grise, éteinte dans l'eau, prenait la trempe lorsque les grains étaient passés à l'état de lames blanches.

Ces observations prouvent, que par l'action de la chaleur le carbone se distribue d'abord uniformément dans le fer cru, pour lui donner de la douceur et le rendre susceptible d'être travaillé; qu'ensuite, le carbone se combine avec le peu d'oxigène resté dans la fonte; que, par cette combinaison, le fer cru passe à l'état de fer raffiné, et qu'il devient capable d'être forgé (1).

Les fontes grises que l'on obtient naturellement sous cette couleur, après les avoir coulées, peuvent être travaillées à la lime et au ciseau, aussitôt qu'elles sont sorties du moule. Les fontes blanches qui contiennent la quantité de graphite qu'il est nécessaire qu'elles aient pour être douces, peuvent devenir grises et capables d'être travaillées, en les exposant à un feu assez fort pour faire séparer une partie du graphite par un refroidissement lent; et celles qui ne contiennent pas de graphite, doivent être cémentées avec de la poussière de charbon, par un procédé tout-à-fait semblable à celui dont on fait usage pour l'obtention de l'acier de cémentation.

En chauffant la fonte pour la rendre douce, il faut éviter deux inconvénients, de ne chauffer ni trop, ni trop peu; dans le dernier cas, la surface seule de la fonte s'affine, prend le cordon, d'abord gris, puis blanc, tandis que l'intérieur conserve sa couleur et sa *tissure :* cette fonte alors ne peut être travaillée à la surface; elle résiste au foret qu'on voudrait introduire dans son intérieur. Dans le premier cas, la surface, en s'affinant, par une augmentation graduelle de température, perd peu-à-peu de sa fusibilité primitive; si dans cet instant on donne un coup de feu un peu fort, la fonte intérieure se liquéfie, perce une

(1) Nous ferons usage de ces observations intéressantes en traitant du travail du fer.

Après avoir sorti les canons du moule, on les porte à la forerie et on les place sur le banc O; la pièce est retenue vers la masselotte par un collet qui supporte le bouton; la tige carrée de la culasse est prise dans un manchon *c*, qui la fixe à l'axe de la roue *d*, et force la pièce à tourner avec elle.

On coupe d'abord la masselotte P, par le moyen d'une lame *a*, placée sur un levier *b*, qui la comprime, et à laquelle on donne le nom de *couteau de la masselotte;* la pièce tourne, la masselotte se sépare, et l'on dispose les forets pour creuser l'intérieur.

561. Les instruments à forer sont divisés en trois classes : *foret* Q, *foret de la pièce du fond* R, *et allésoir* S. Les premiers ébauchent, creusent les canons, les seconds arrondissent le fond, les troisièmes terminent le calibre et unissent l'intérieur des pièces.

Les forets Q, sont composés d'un grand lévier de fer, à l'extrémité duquel est un ciseau à deux tranchants, en forme de langue de carpe *a*, avec lequel on commence l'ouverture : un peu plus loin et dans la même direction, est une lame à deux tranchants *b*, fixée dans une autre ouverture; elle sert à agrandir le vide : un peu plus loin encore, est une troisième lame à deux tranchants *c*, fixée également dans une nouvelle ouverture; sa largeur est égale au diamètre intérieur de la pièce. Par le moyen de ces trois lames, on creuse le cylindre en trois opérations distinctes et simultanées, de manière à donner à l'intérieur le diamètre qu'il doit avoir.

La pièce du fond R, est formée d'un cylindre, dont le diamètre diffère peu de celui du calibre de la pièce, et à l'extrémité duquel est un ciseau plan, qui doit terminer carrément le fond du canon; enfin, l'allésoir est une espece de foret, composé de deux lames, à biseaux, opposées et rectangulaires; celles-ci sont placées et serrées avec des vis à l'extrémité d'un lévier de fer, elles ont exactement le diamètre de la pièce. Non-seulement on rend, avec l'allésoir, le cylindre plus régulier, plus uni, mais encore on dresse le fond plan du cylindre.

562. Pour terminer les pièces, il faut couper la tige carrée, fondue à

l'extrémité du bouton, et qui sert à fixer le canon à l'axe de la roue qui le fait tourner : il faut enfin percer la lumière.

Nous nous dispenserons de continuer la description de l'achèvement des pièces, des épreuves qu'elles doivent subir, de la manière de constater leur qualité et de déterminer leur réception. Si l'on veut avoir de plus grands détails sur cet objet, on peut consulter l'excellent ouvrage, rédigé par le sénateur MONGE, à la suite des cours sur la fabrication des canons, qui ont été faits séparément et concurremment par lui, le membre de l'Institut Perrier, et nous. Cet ouvrage fut imprimé et publié par ordre du Comité de Salut Public.

Cette description pourra présenter un intérêt nouveau pour les maîtres de forge, particulièrement sous le rapport de la théorie, qui est décrite avec cette clarté et cette élégance qui caractérise l'homme de génie.

FIN DU TOME SECOND.

EXPLICATION DES FIGURES

CONTENUES

DANS LE SECOND VOLUME.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXIV.

NUMÉRO 334, *page* 58, plan et détails d'une trompe.

Figure A, coupe verticale d'une trompe.

f, canal par où arrive l'eau.

a, entonnoir ou ouverture du tuyau dans lequel l'eau tombe.

e, *e*, trompillons servant à aspirer de l'air, pour compléter celui qui est entraîné par l'eau.

b, caisse qui reçoit l'eau, et dans laquelle elle se sépare, en tombant, de l'air qui y était mélangé et combiné.

c, petite ouverture située au bas des caisses, pour faciliter la sortie de l'eau. On remarque que plus ces ouvertures sont petites, plus l'eau s'élève dans la caisse.

d, tuyau supérieur, ou porte-vent, par lequel sort l'air pour être conduit dans les lieux où il est nécessaire.

Figures B et C, détails des caisses qui reçoivent l'eau et l'air sortant du tuyau.

a, tuyau de conduit de l'eau et de l'air qui tombent dans la caisse.

t, tablette sur laquelle l'eau, en tombant, se sépare de l'air mélangé et combiné.

c, ouverture de sortie de l'eau de la caisse.

r, réservoir qui retient l'air, et l'élève au-dessus de l'ouverture *c*, en sortant de la caisse.

v, vanne qui permet la sortie de l'eau. et qui la force à s'élever dans le réservoir *r*, en diminuant l'ouverture par laquelle elle doit sortir.

d, porte-vent, ou conduit de l'air.

N° 335, *pages* 58, 59, 60, 61. Détails de plusieurs trompes employées dans différents pays, et décrits par plusieurs savants.

Figures D, F, trompes décrites par Mariotte.

e, eau tombant en petites gouttes enveloppées d'air.

a, entonnoir, ou ouverture du tuyau dans lequel tombe l'eau pour être conduite ensuite dans la caisse.

b, caisse qui reçoit l'eau au sortir du tuyau.

t, tablette sur laquelle l'eau tombe et se sépare de l'air qu'elle a entraîné avec elle.

c, sortie de l'eau.

d, sortie de l'air.

Figure E, trompe décrite par Bélidor.

a, canal qui amène l'eau à l'ouverture du tuyau.

e, entonnoir dans lequel l'eau tourbillonne pour entraîner de l'air avec elle.

f, étranglion qui oblige l'air et l'eau à se comprimer pour descendre ensemble dans le tuyau.

Figures G, K, détails des trompes des Pyrénées.

e, *t*, *figure* G, trompillons aspirant l'air qui doit se combiner avec l'eau qui entre par l'ouverture *a*.

R, élévation générale d'une trompe des Pyrénées.

S, plan horizontal.

K*a*, coupe de la caisse qui reçoit l'eau en sortant des tuyaux.

K*b*, coupe des tuyaux carrés faits en planche.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

c, canal qui fournit l'eau aux trompes.

a, tuyaux par lesquels elle tombe.

e, *e*, *e*, *e*, *f*, trompillons qui aspirent l'air.

p, *p*, *p*, *p*, poteaux qui soutiennent le canal.

g, banquette sur laquelle l'air se sépare de l'eau en tombant.

v, vanne qui facilite la sortie de l'eau, et la maintient au-dessus de son niveau intérieur.

b, buse pour la sortie de l'air.

t, intérieur des tuyaux carrés.

Figures H, I, L, N, détails des trompes des Alpes.

T, projection verticale des trompes.

U, projection horizontale.

Figure H, coupe de la jonction de l'entonnoir avec le tuyau de la trompe.

N, coupe de la caisse qui reçoit l'eau, et sur laquelle l'air se sépare.

I, plan de la banquette placée dans la caisse sur laquelle tombe l'eau.

L*a*, plans des tuyaux formés de deux moitiés d'arbres creusées circulairement.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, *a*, tuyaux.

b, banquette sur laquelle tombe l'eau.

c, canal fournissant l'eau qui tombe dans les tuyaux.

e, *e*, *f*, trompillons.

g, ouverture de l'entonnoir.

r, réservoir qui retient l'eau, et l'élève au-dessus du niveau de celui de la caisse.

t, intérieur des tuyaux.

v, petite vanne pour la sortie de l'eau de la caisse.

Z, extérieur des caisses.

N° 336, *Figure* M, *pages* 62 et 63. Coupe d'un tuyau représentant l'effet des trompillons, placés au-dessous de l'étranglement de l'entonnoir.

o, trompillons par lesquels il entre de l'air.

p, trompillons par lesquels il n'entre ni ne sort d'air.

q, trompillons par lesquels il sort de l'air.

N° 337, *page* 64, soupapes et buses des machines soufflantes.

Figure N, *soupape à clapet.*

O, *soupape conique.*

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, soupape.

b, ouverture de la soupape, lorsque l'air entre dans l'intérieur des machines soufflantes.

P, Q, *buses.*

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, ouvertures de la têtière par laquelle l'air sort des machines soufflantes.

s, *s*, soupape à clapet, qu'on place vis-à-vis l'ouverture de la têtière, ou à l'extrémité de la buse, pour empêcher l'entrée des corps embrasés dans l'intérieur des machines soufflantes.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXV.

*N*os 339, 340, 341, *pages* 66, 67 *et* 68. Soufflets de différentes formes.

Figures B et C, soufflets de cuir.

Figures A, D et F, soufflets à ais articulés, analogues aux soufflets d'orgues.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, têtière.

b, *gîte*, parois immobiles, fixées sur la têtière.

c, *volant*, parois mobiles, attachées sur la têtière par des charnières qui facilitent leur mouvement.

h, *buse*, tube pour la sortie de l'air.

Figure G, détails de la disposition des petites planches qui articulent les unes sur les autres.

a, *a*, *a*, réunion des petites planches par des languettes de peau, pour former leur articulation.

Figure E, soufflets doubles, à vent continu.

a, plan du milieu immobile, fixé sur la têtière.

b, têtière.

c, *ame*, ou soupape du plan immobile *a*.

d, plan mobile inférieur, attaché sur la têtière par des charnières qui facilitent son mouvement. Ce plan est celui dont le mouvement détermine l'entrée de l'air : c'est le *volant*.

e, *ame*, ou soupape d'aspiration, c'est-à-dire, d'entrée de l'air.

f, ouverture de la buse par laquelle sort l'air.

g, parois supérieures mobiles, qui déterminent un jet d'air continu par sa pression uniforme.

h, *buse*, ou tube de sortie de l'air.

N° 342, *page* 68. Soufflets à frottements.

Figure H, caisse carrée, ou volant, frottant dans une seconde caisse semblable, mais fixe.

Figure I, piston cylindrique mobile, frottant dans une caisse cylindrique fixe.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, caisse extérieure.

b, caisse intérieure faisant fonction de piston.

p, piston.

s, *ame*, ou soupape d'aspiration, ou d'entrée de l'air.

N° 343, *pages* 69, 70, 71 *et* 72. Diverses machines soufflantes hydrauliques.

Figure K, coupe d'une machine soufflante hydraulique.

a, *gîte*, caisse inférieure et fixe, qui contient l'air et l'eau.

b, *volant*, caisse supérieure qui se meut dans la première, dont le mouvement de va et vient dilate l'air pour en aspirer de l'extérieur, et le comprime ensuite pour l'expirer et le chasser dans le porte-vent.

d, tuyau recouvert d'une soupape, qui facilite l'entrée de l'air aspiré dans la caisse, et l'empêche de sortir lorsqu'on le comprime.

c, tuyau d'expiration par lequel sort l'air lorsqu'il est comprimé.

s, soupape qui permet la sortie de l'air, et l'empêche de rentrer lorsque la caisse *b* en aspire de nouveau.

p, porte-vent pour conduire l'air à sa destination.

Figure L, coupe de la machine soufflante hydraulique, imaginée par John Laurie, exécutée près d'Edimbourg.

a, *volant*, ou caisse mobile qui aspire l'air.

b, *gîte*, ou caisse fixe qui contient l'air et l'eau, et dans laquelle se meut la caisse *a*.

c, ouverture par laquelle l'air comprimé entre dans le tuyau *h*, qui le conduit dans le régulateur *d*.

d, troisième caisse plongée dans un bassin, et qui fait l'office de régulateur.

e, *e*, tuyaux d'aspiration de l'aire xtérieur, recouverts d'une ame ou d'une soupape.

f, extrémité du tuyau qui conduit, dans le régulateur, l'air comprimé dans la machine soufflante.

g, poids ajoutés à la caisse mobile pour comprimer l'air, et le faire passer dans le régulateur.

k, tuyau de communication de la machine soufflante dans le régulateur.

p, porte-vent.

Figure M, machine imaginée par Baader, exécutée dans les forges de Weyer Hammer, dans le Haut-Palatinat.

a, caisse extérieure qui contient l'air et l'eau.

b, caisse mobile qui aspire et comprime l'air par ses mouvements ascendants et descendants.

c, ame, ou soupape d'aspiration par laquelle l'air entre dans la caisse *a*, lorsque celui qui y est contenu a été dilaté par l'élévation de la caisse *b*.

d, ouverture d'expiration, ou de sortie de l'air, lorsqu'il a été comprimé par la caisse en descendant.

e, soupape de sûreté pour la sortie de l'air, lorsqu'il est trop comprimé, et pour la sortie de l'eau qui pourrait être entrée dans le porte-vent *p*.

42.

f, ouverture par laquelle on fait entrer l'eau dans la caisse *a*.

g, ouverture de sortie de l'eau, lorsqu'on vide la caisse.

p, porte-vent.

Figure N, détail de la soupape du tuyau d'expiration, ou sortie de l'air de la caisse.

a, soupape à clapet.

b, *c*, *d*, lévier qui fait fermer la soupape.

b, roulette qui appuie sur la soupape, et qui en diminue le frottement.

c, axe du lévier.

d, contre-poids mobile pour comprimer la soupape avec plus ou moins de force.

Figure O, caisse placée dans un grand réservoir, dont le mouvement de va et vient produit l'effet d'une machine soufflante.

a, caisse mobile.

b, tuyau d'aspiration.

c, ame, ou soupape d'aspiration.

d, porte-vent flexible, qu'on peut construire en cuir.

e, soupape d'expiration.

N° 844, *page* 72, détails des soufflets de bois ordinaires.

Figures P, Q, R, dessin du *mantonnet porte-ressort*.

m, menton du mentonnet.

q, queue du mentonnet.

r, ressort.

l, liteau pressé contre les parois des soufflets.

p, parois des soufflets.

Figure S, développement des assemblages intérieurs d'un soufflet.

a, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, liteaux.

a, *b*, assemblage de deux liteaux séparés par un ressort, qui les force à s'écarter pour s'étendre.

m, *m*, *m*, mentonnet.

r, *r*, *r*, ressorts.

Figure T, piston en bois, circulaire, pour une machine soufflante cylindrique.

l, *l*, *l*, liteaux circulaires de plusieurs pièces, pour qu'ils puissent s'étendre et remplir l'espace vide.

m, *m*, *m*, mentonnet.

r, *r*, *r*, ressorts qui pressent les liteaux contre les parois de la caisse.

N° 346, *pages* 74 *et* 75. Soufflets de bois ordinaires.

Figure X, vue extérieure des soufflets.

b, caisse mobile ou volante.

c, têtières.

h, buses.

Figure U, coupe verticale d'un soufflet.

Figure V, projection horizontale.

a, gîte, ou caisse fixe.

b, volant, ou caisse mobile.

c, têtières après lesquelles est fixé le gîte.

h, buse.

l, *l*, liteaux,

m, *m*, tête du soufflet.

n, *n*, mentonnet.

s, ame, ou soupape d'aspiration, par laquelle l'air entre dans les soufflets.

v, ouverture de la têtière, communiquant à la buse par où sort l'air.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXVI.

N° 347, *pages* 76 *et* 77. Coupe verticale de trois machines soufflantes.

Figure A, machines soufflantes dont le piston est mu de bas en haut.

Figure B, machines soufflantes dont le piston est mu de haut en bas.

Figure C, machines soufflantes de Marche-sur-Meuse, près Namur.

DÉTAILS DE CES MACHINES.

a, caisses fixes.

b, pistons mobiles.

c, *c*, soupapes d'aspiration de l'air.

d, porte-vent.

e, soupape des porte-vents, ou d'expiration de l'air.

f, profil de la machine de Marche-sur-Meuse.

N° 348, *page* 77, *Figure* D. Machines soufflantes en bois, de Guérigny, département de la Nièvre. Cette machine est formée de deux caisses correspondant à un réservoir placé dans la partic supérieure.

a, plan et élévation de cette machine,

b, réservoir, ou régulateur.

N° 349, *page* 87, *Figure* E. Plan, coupe et élévation d'une machine soufflante, en marbre, qu'on croit avoir été exécutée.

a, plan de la machine.

b, coupe verticale de la caisse.

c, coupe verticale du piston.

d, *d*, soupape d'aspiration.

e, Elévation verticale oblique de la machine.

N° 352, *pages* 80 *et* 81. Différents régulateurs à eau.

Figure F, régulateur ordinaire, fixé dans un réservoir d'eau, dans lequel l'air arrive par la partie inférieure. Ce régulateur fait partie de la machine inventée par John Laurie, qui fut exécutée à Edimbourg.

Figure G, régulateur d'une plus grande dimension, fixé également dans une cuve où l'air arrive par la partie supérieure; elle fut exécutée à Devon, près de Muirskik, en Ecosse.

Figure H, régulateur mobile, placé dans une cuve pleine d'eau, dans lequel l'air éprouve une compression variable, comme le poids de la caisse, à cause des différentes quantités d'eau qu'elle déplace dans son mouvement; ce qui occasionne une variation dans sa pesanteur.

Figure I, régulateur mobile, placé dans une cuve pleine d'eau. Dans cette figure, la variation de la pression est modifiée par la courbure *qr* d'un lévier, auquel la caisse est suspendue; à l'autre extrémité est un poids *p*, qui contribue à cette modification.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, conduit par lequel arrive l'air dans le régulateur.

b, ame, ou soupape d'aspiration.

c, parois de la caisse.

d, tuyau de sortie de l'air.

m, *m*, *m*, madriers sur lesquels les caisses F, G, sont fixées.

P*q*, lévier à l'extrémité duquel la caisse est suspendue.

P, poids qui contrebalance une partie du poids de la caisse.

qr, courbe qui égalise la perte du poids de la caisse dans l'eau.

N° 353, *page* 81. Régulateur à pistons comprimants.

Figure K, régulateur de Mont-Cenis, éloigné de la machine soufflante.

Figure M, régulateur placé au-dessus d'une machine soufflante.

a, intérieur du régulateur, *fig.* K.

b, piston comprimant l'air dans les cylindres régulateurs.

d, soupape du régulateur qui permet l'entrée à l'air et s'oppose à sa sortie.

f, tuyau de sortie de l'air, ou porte-vent.

p, poids comprimant, placé sur une ouverture faite à un piston ; il forme soupape de sûreté, pour donner issue à l'air lorsqu'il est trop comprimé.

N°, 354, *page* 82. Régulateur formé par un jet continuel d'air arrivant.

Figure N, régulateur sans piston.

a, parois supérieure de la caisse de la machine soufflante.

b, piston de la machine soufflante qui aspire et expire alternativement de l'air dans les parties supérieures et inférieures du piston.

d, ouverture et soupape d'aspiration de l'air dans la partie inférieure.

e, soupape d'aspiration de l'air dans la partie supérieure.

h, ouverture par laquelle l'air expiré, dans la partie supérieure de la machine, entre dans le régulateur. Cette ouverture est recouverte par une soupape.

k, ouverture par laquelle l'air expiré, dans la partie inférieure de la machine, entre dans le régulateur. Cette ouverture est également recouverte par une soupape.

l, porte-vent, ou tuyau de sortie de l'air du régulateur.

p, poids employés à fermer la soupape d'aspiration supérieure.

Figure O, machine soufflante à double piston qui forme elle-même son régulateur.

a, milieu du vide du cylindre de la machine.

b, piston supérieur.

c, piston inférieur.

d, *d*, ame, ou soupape d'aspiration du piston inférieur que l'air soulève lorsqu'il entre dans le cylindre.

e, *e*, soupape du piston supérieur par lequel l'air que contient la machine peut entrer dans l'espace supérieur, pendant que le piston supérieur *b* descend ; mais qui ne permet plus à l'air d'en sortir lorsque le piston remonte, et le force en conséquence à s'échapper par le porte-vent.

f, porte-vent, ou tuyau de sortie de l'air.

N° 355, *page* 83, *Figure* Q. Régulateur à réservoir, de Devon, en Ecosse. C'est une cave de grande dimension.

b, ouverture de sortie de l'air.

c, ouverture d'entrée.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXVII.

N° 359, *page* 87. Forme du volume des soufflets de bois, engendré par le mouvement du volant.

Figure B, projection oblique du volume, engendré par le mouvement du volant.

Figure D, plan et élévation de ce même volume, divisé en trois parties; savoir : deux pyramides à bases rectangulaires *a*, *b*, et un coin *c*.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, l'une des pyramides dans lesquelles se divise le volume engendré par le volant.

b, la seconde pyramide.

C, coin qui sépare les deux pyramides.

d, projection verticale du volume engendré.

e, *f*, largeur de l'extrémité du volume engendré vers la têtière.

g, *h*, *i*, *k*, dimensions de la base et de la hauteur du coin.

l, section à retrancher.

m, *m*, largeur de la tête.

N° 360, *Figure* A, *page* 87. Coupe verticale d'un prisme rectangulaire, servant à mesurer le volume engendré par les pistons dans une machine soufflante, en bois ou en marbre.

N° 361, *Figure* C, *page* 88. Coupe verticale d'une machine soufflante cylindrique, servant à mesurer le volume engendré par le mouvement du piston.

N° 362, *Figure* E, *page* 88. Ame, ou soupape à clapet d'un soufflet, représenté pour déterminer l'effort que l'air extérieur doit vaincre pour pénétrer dans la machine soufflante.

N° 364, *pag.* 91 *et* 92. Anémomètre de Mariotte, instrument pour mesurer la vitesse de l'air, par le poids qui fait équilibre à la pression que ce fluide élastique exerce en sortant par un orifice.

Figure G, projection verticale d'un anémomètre appliqué à une ouverture faite sur les parois verticales de la machine.

Figure H, projection verticale d'un anémomètre appliqué à une ouverture faite sur le fond de la machine, d'où résulte un jet d'air vertical.

Figure H', projection oblique de l'anémomètre, *figure* G.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, ouverture par laquelle sort l'air.

b, plan appliqué à l'ouverture.

b, *d*, *c*, lévier mobile sur le point *d*.

c, extrémité du lévier où l'on place des poids, pour faire équilibre à la pression que l'air exerce en sortant.

d, axe d'oscillation du lévier.

e, plateau de balance destiné à recevoir les poids.

N° 365, *pages* 92 *et* 93. Anémomètre, ou *mesure-vent*, avec lequel on mesure le ressort de l'air, par la hauteur d'une colonne d'eau qui lui fait équilibre.

Figure L, tube de verre recourbé, dont une des branches *a* est fixée dans le réservoir, ou dans le conduit d'air, et l'autre *b* est soumise à la pression de l'atmosphère. La différence des deux hauteurs *c*, *b*, de l'eau, dans les deux tubes, indique celle de la colonne d'eau qui fait équilibre au ressort de l'air.

Figure K, autre anémomètre de verre, à deux branches seulement.

Figure M, anémomètre de M. Vergnies Bouichères.

Figure N, anémomètre de M. Banck.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, cylindre de fer-blanc rempli d'eau.

b, tube de verre, plongeant dans l'eau, et dans lequel ce liquide s'élève par la pression que l'air exerce sur la surface de l'eau qui est dans le cylindre de fer-blanc.

c, tube de fer-blanc, communiquant au réservoir, ou au conduit de l'air, et qui fait parvenir cet air sur la surface de l'eau dans le cylindre de fer-blanc.

d, ouverture faite dans le réservoir, ou dans le tuyau, qui contient l'air pour y placer le tube *c*.

N° 367, *page* 96, V, X, représentation de deux tubes remplis de deux fluides élastiques de densités différentes, qui communiquent entre eux par une ouverture *a*, et qui se font équilibre. Cette figure est destinée à l'analyse appliquée aux machines soufflantes.

N° 374, *pages* 108 *et* 109. Différentes manières de faire mouvoir les soufflets par des hommes.

Figure O, soufflets simples suspendus au-dessus du foyer.

Figure P, soufflet simple placé à la hauteur du foyer.

Figure Q, soufflet double placé à la hauteur du foyer.

Figure R, soufflet double suspendu au-dessus du foyer.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, volant, ou parois mobile du soufflet pour aspirer l'air.

b, parois fixes dans les soufflets simples, ou mobiles dans les soufflets doubles, pour expirer l'air.

c, parois fixes dans les soufflets doubles.

d, tringles, chaînes, ou corde fixée au volant et au balancier, ou *bâton de la branloire.*

f, tringle, chaîne, ou corde fixée à l'autre extrémité du lévier de la branloire, pour qu'il puisse communiquer son mouvement au volant.

g, poids fixé sous le volant, pour le faire retomber seul.

l, lévier, ou balancier qui établit la communication entre l'ouvrier qui tire la tringle, et le volant qu'il doit faire mouvoir.

p, poteau qui supporte les soufflets placés à la hauteur des foyers.

t, tringle qui suspend les soufflets élevés au-dessus du foyer.

Figure S, soufflet indiqué par Réaumur, comme étant employé dans le commencement du siècle dernier, par les fondeurs ambulants.

Figures T et U, soufflets, employés par les forgeurs d'enclumes, indiqués par Duhamel du Monceau.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXVIII.

N° 375, *page* 110, *Figure* A. Machine imaginée pour faire mouvoir des soufflets avec des chevaux.

a, *b*, double manivelle coudée, fixée au sommet de l'arbre qui la fait tourner.

c, arbre vertical mu par les chevaux.

d, *e*, tringles qui ont un mouvement de va et vient, qui leur est communiqué par la rotation des manivelles.

f, *g*, léviers coudés à angle droit, qui ont un mouvement d'oscillation que leur communique celui des va et vient des deux tringles.

gk, *fh*, verges, chaînes, ou cordes, qui communiquent des léviers coudés au volant des soufflets, et donnent à ceux-ci le mouvement d'oscillation

qui leur est nécessaire, pour aspirer et expirer l'air qui doit être lancé dans le foyer.

N° 376, *page* 110, *Figure* B. Machine mue par des chiens, employée par quelques cloutiers, pour faire mouvoir leur soufflet.

a, roue dans laquelle sont placés les chiens, et qu'ils font tourner en marchant dans leur intérieur.

m, manivelle qui tourne avec la roue.

b, verge de fer qui a un mouvement de va et vient, par sa communication avec la manivelle.

c, petits léviers que la verge de fer *b* fait osciller.

d, verge de fer communiquant au lévier oscillant *c*, et au volant du soufflet *s*, et qui donne à celui-ci le mouvement nécessaire à l'aspiration et à l'expiration de l'air qui doit favoriser la combustion.

N° 378, *page* 111, roues hydrauliques employées à faire mouvoir les machines soufflantes et les machines de compression.

Fig. C, D, roues à aubes, ou à ailes, mues par un courant; la roue D se trouve encaissée dans un coursier qui facilite son action contre les ailes.

a, *a*, *a*, sont les ailes des roues frappées par le courant.

Figures F, G, H, roues à auges dont le mouvement est principalement occasionné par la pesanteur de l'eau, réunie dans leurs cavités.

Figure F, roue dont les auges reçoivent l'eau à la moitié de la hauteur.

Figure G, roue qui reçoit l'eau dans sa partie supérieure, et dont le mouvement est occasionné par la double action du poids et du choc de l'eau.

Fig. H, roue dont les auges reçoivent l'eau au tiers de la hauteur totale.

N° 379, *page* 112. Divers moyens de faire mouvoir les machines soufflantes.

Figure I, plan de la roue hydraulique, de l'arbre et des cammes qui font mouvoir les machines soufflantes.

a, arbre de la roue.

c, camme fixée dessus pour faire mouvoir les soufflets.

h, roue hydraulique.

Figure K, coupe verticale d'un soufflet cylindrique.

a, arbre de la roue hydraulique, ou de la machine à vapeur.

c, camme fixée sur l'arbre.

d, coupe du cylindre de la machine soufflante.

l, tige fixée sur le piston.

m, mentonnet que la camme soulève.

p, piston qui aspire et expire l'air par son mouvement.

Figure L, soufflet de bois ordinaire dont le volant est soulevé par les cammes.

Figure M, soufflet de bois dont le volant est écrasé par les cammes.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, arbre de la machine.

b, *basse coudée*, pièce de bois sur laquelle la camme exerce son action.

c, *c*, cammes qui soulèvent ou abaissent les volants, ou les pistons des machines soufflantes.

Nº 380, *page* 113. Moyens employés lorsque les arbres des machines hydrauliques sont plus hauts ou plus bas que les mentonnets, ou les *basses coudées* des machines soufflantes.

Figure N; l'arbre étant un peu plus bas, on a remplacé la *basse coudée* par un étrier *e'*.

Figures O, P et Q; l'arbre étant encore plus bas, on a fait presser les cammes sur un lévier placé, au-dessous du volant, dans les figures O et P, et par un nouvel arbre qui engrène dans le premier, *figure* Q.

Figure O; la caisse supérieure forme le volant et se meut : dans ce cas, la *basse coudée* communique avec le balancier par une tringle *t*.

Figure P, soufflet où le volant est dans la partie inférieure : dans ce cas, le lévier inférieur communique, par un assemblage en bois, avec une espèce de piston oscillant, faisant fonction de volant.

Figure Q; le second arbre *g* est assez élevé pour faire comprimer la *bassa coudée* par ses cammes, et faire baisser le volant.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, arbre des machines hydrauliques, qui communique à celui qui supporte la roue hydraulique.

b, *basse coudée*, barre placée sur le volant supérieur.

c, *c*, *c*, cammes.

e, engrenage des deux arbres.

e', étrier.

o, *p*, lévier oscillant, espèce de balancier qui relève le volant lorsque la camme l'a abaissé.

p, poids placé à l'extrémité du balancier, pour entraîner le volant lorsque les cammes cessent d'agir.

t, tringle qui établit la communication entre le volant et le balancier.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXIX.

N° 381, *pages* 113 *et* 114. Moyens employés pour soulever les volants des soufflets, afin d'obtenir un jet d'air constant et continu.

Figure A, projection oblique de deux léviers chargés d'un poids à l'une de leurs extrémités, pour soulever le volant, lorsque les cammes cessent de presser dessus.

pl, *pl*, lévier.

p, poids fixés à l'une de leur extrémité.

l, attache de la tringle fixée au volant par son autre extrémité.

b, centre d'oscillation des léviers.

Figure B, projection verticale oblique de deux soufflets, avec un lévier de suspension.

Figure B′, projection verticale des mêmes soufflets, vue par derrière.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

f, barre élastique qui suspend le balancier, et qui fléchit, lorsque les cammes compriment les deux soufflets à-la-fois.

c, tringle de suspension du balancier.

l, *m*, balancier.

b, centre d'oscillation du balancier.

u, *v*, volants des deux soufflets.

Ce mécanisme est tel, qu'aussitôt que les cammes abaissent le volant de l'un des soufflets, l'autre se trouve soulevé par le mouvement d'oscillation du balancier.

N° 382, *page* 115, *Figure* C. Moyens de faire mouvoir des soufflets éloignés de l'arbre de la roue hydraulique.

r, arbre de la roue.

m, manivelle fixée sur l'arbre.

a, tringle de fer correspondante à la manivelle de la roue; le mouvement de rotation de celle-ci lui communique un mouvement de va et vient.

b, axe d'un lévier coudé, dont l'une des branches communique à la

tringle, et reçoit, de cette communication, un mouvement d'oscillation.

d, tringle qui communique, par un mouvement de va et vient, l'oscillation de l'axe *b*, à un autre axe *c*.

c, second axe oscillant.

l, *m*, lévier oscillant fixé à l'axe *c*, qui produit l'effet d'un balancier.

lv, *mu*, tringle qui communique, par un mouvement de va et vient, l'oscillation du lévier *lm*, au volant des soufflets.

u, *v*, volant des soufflets.

N° 383, *page* 115. Mouvement de va et vient, communiqué au piston par la rotation de l'arbre fixé sur la roue hydraulique.

Figure D, piston soulevé pour aspirer l'air.

Figure E, piston refoulé pour expirer l'air : le premier l'expire par sa chûte, tandis qu'au contraire le second l'aspire.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, arbre de la roue hydraulique.

b, tige des pistons.

c, camme fixée sur l'arbre.

d, *d*, *liteaux*, pièces de bois qui dirigent la tige des pistons.

p, pistons.

m, mentonnet.

N° 384, *pages* 116, 117 *et* 118. Manière de tracer les cammes des pistons.

Figure F, indications des espaces égaux, parcourus par le mentonnet, pendant que l'extrémité *g*, *o*, de la camme, décrit des angles égaux par le mouvement de l'arbre.

a, *b*, *d*, *e*, *f*, position successive du mentonnet.

g, *h*, *i*, *k*, *l*, positions correspondantes de la camme, pour que les angles qu'elle décrit soient égaux.

Figure G, coupe de la camme qui doit être la dévéloppée d'une circonférence du cercle, pour remplir les deux conditions : que les espaces égaux, parcourus par le mentonnet, correspondent à des angles égaux décrits par la camme, et que le contact de la camme et du mentonnet soit dans une ligne verticale.

a, *h*, *i*, *k*, *l*, cercle enveloppé par une corde à la naissance de la courbure de la camme.

a, *b*, *d*, *e*, *f*, *g*, courbe formée par cette développée.

c, centre du cercle et de l'arbre.

Figure H, tracé d'une courbe épicycloïdale, pour régulariser le mouvement d'oscillation des volants des soufflets.

a, *b*, *d*, *e*, *f*, courbe décrite par un des points du cercle générateur, en tournant sur le premier cercle.

Figure I, tracé de la camme épicycloïdale, qui fait mouvoir les volants des soufflets.

aikl, cercle formé à la naissance de la camme, et dont le centre est celui de l'arbre fixé sur la roue.

abhg, cercle générateur, dont le diamètre égale la longueur du lévier oscillant.

abdef, courbure épicycloïdale de la camme.

c, centre de l'arbre.

Figure K, figure géométrique servant à démontrer que la courbure épicycloïdale est la plus favorable aux cammes qui meuvent les soufflets de forges ordinaires.

AB, longueur des léviers des soufflets.

A, leur centre d'oscillation.

C, centre de rotation de l'arbre de la roue hydraulique.

CB, longueur du rayon, ou distance du centre de l'arbre à la naissance de la camme.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXX.

N° 385, *page* 109, *Figure* A. Machine à colonne d'eau.

a, cylindre de fonte, dans lequel entre l'eau qui fait mouvoir le piston.

b, piston mu par l'eau. Il a un mouvement ascendant, lorsque l'eau arrive dans la partie inférieure *c*, et un mouvement descendant, lorsqu'elle arrive par la partie supérieure *d*; l'eau s'écoule du grand cylindre par les deux ouvertures *d*, *c*, communiquant à un autre petit cylindre, c'est-à-dire, que l'eau qui se trouve dans la partie supérieure, s'écoule par l'ouverture *d*, lorsque le piston monte, et qu'elle s'écoule par la partie inférieure *c*, lorsque le piston descend. En général, le jeu des soupapes et du liquide, dans cette machine, est le même que celui de la vapeur et des soupapes dans les machines à vapeur à double effet.

c, ouverture inférieure du cylindre, par laquelle l'eau entre et sort alternativement.

d, ouverture supérieure du cylindre, par laquelle l'eau entre et sort alternativement.

e, réservoir qui contient l'eau qui doit faire mouvoir le piston. Cette eau tombe par le tuyau qui communique au réservoir; elle entre dans le grand cylindre, soit par l'ouverture *c*, soit par l'ouverture *d*, et exerce, sur le piston, une pression occasionnée par toute la hauteur de la colonne.

f, balancier communiquant à la tige du piston, et qui reçoit ainsi un mouvement d'oscillation.

g, mécanisme analogue à celui des machines à vapeur à double effet, pour faire ouvrir et fermer les soupapes d'entrée et de sortie de l'eau.

h, *i*, grand balancier oscillant, appliqué par son extrémité *h* à la machine qu'on veut faire mouvoir. Le mouvement de ce balancier est déterminé par celui du piston *b*, auquel il communique par sa tige *f*.

N° 386, *pages* 120 *et* 121. Machine à colonne d'eau, appliquée à une machine soufflante.

Figure B, machine proposée par l'inspecteur divisionnaire Baillet.

a, réservoir d'eau destiné à faire mouvoir la machine.

b, tuyau par lequel l'eau arrive dans le grand cylindre.

c, grand cylindre contenant un piston *p*, auquel l'eau donne un mouvement de va et vient.

d, autre piston placé dans le cylindre d'une machine soufflante *m*, lequel est mis en mouvement par une tringle *g*, qui communique aux deux pistons.

e, robinet qui permet et défend la sortie de l'eau du cylindre *c*.

f, robinet qui permet et défend l'entrée de l'eau du réservoir dans le cylindre *c*.

g, tringle qui établit une communication de mouvement entre les pistons des cylindres à eau et à air.

h, *k*, petite tringle mue avec la tringle principale *g*, et qui sert à ouvrir et à fermer alternativement les robinets *e*, *f*; savoir : à ouvrir le robinet *f*, et à fermer le robinet *e*, lorsque le piston *p* est descendu au fond du cylindre, afin que l'eau, en entrant par le robinet *f*, puisse, par la pression qu'il exerce, soulever le piston jusqu'en haut. Alors, par l'effet des tringles, le robinet *f* se ferme, le robinet *e* s'ouvre, et les pistons, par leurs propres poids, compriment l'eau, qui sort par le robinet *e*, en même temps que le piston descend.

m, cylindre de la machine soufflante.

n, *o*, ame, ou soupape d'aspiration de l'air.

q, soupape d'expiration de l'air qui entre dans le porte-vent *v*.

v, porte-vent.

p, piston mu par l'eau.

Figure C, application d'une machine à colonne d'eau, au mouvement des soufflets de bois.

a, *a*, grand cylindre de la machine à colonne d'eau.

b, piston mu par l'eau.

c, tige verticale fixée sur le piston.

d, double camme dont la courbe est la développée d'une circonférence de cercle.

de, lévier oscillant, ou, si l'on veut, le volant des soufflets.

m, *n*, mentonnet supérieur ou inférieur, pour écraser ou soulever le lévier oscillant.

p, *q*, liteaux, ou traverses qui maintiennent la tige du piston dans une position verticale.

N° 387, *pages* 112 *et* 113. Ensemble et détails d'une machine à vapeur employée à faire mouvoir des machines soufflantes, ou des machines de compression.

Figure D, coupe verticale d'une machine à vapeur à double effet.

Figure D', plan de la même machine.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, cylindre à vapeur.

b, piston mu par la vapeur. Il s'élève lorsque la vapeur arrive par la partie inférieure *i*; il s'abaisse lorsqu'elle arrive par la partie supérieure *k*.

Lorsque la vapeur arrive par la partie inférieure *i*, pour comprimer le piston, et le soulever, la vapeur qui se trouve dans la partie supérieure se porte, par un conduit particulier, sur de l'eau fraîche éparpillée dans le réfrigérent *e*; elle s'y condense, et forme un vide qui facilite le mouvement ascensionnel du piston.

Lorsque la vapeur arrive par la partie supérieure *k*, celle qui remplit l'espace inférieur sort par l'ouverture *i*, pour se porter dans le réfrigérent, et former un vide qui facilite le mouvement descendant du piston.

c, chaudière dans laquelle est l'eau bouillonnante qui produit la vapeur, pour se porter de là, par le canal *n*, dans le grand cylindre.

d, réservoir rempli d'eau fraîche qui fournit celle qui est nécessaire au réfrigérent. Cette eau y est apportée par une pompe *p*, que fait mouvoir le grand balancier de la machine, en même temps qu'une autre pompe *q*, enlève l'eau du réfrigérent, échauffée par la vapeur qu'elle a condensée; une partie de cette eau rentre dans la chaudière pour fournir à la consommation; l'autre, qui est superflue, est rejetée en dehors.

e, *réfrigérent*, petit cylindre dans lequel est un tube recourbé qui communique au réservoir *d*, et qui y lance des jets d'eau qui servent à comprimer la vapeur.

f, *tige* communiquant à un lévier *m*, qui fait mouvoir le mécanisme *l*, qui ouvre et ferme les soupapes d'entrée et de sortie de la vapeur.

g, tige du piston.

h, *h'*, grand balancier, mu également par la tige *g* du piston, et dont l'extrémité *h'* est appliquée aux machines qu'il doit faire mouvoir.

h', *v*, tringle qui fait communiquer le mouvement du balancier au volant H.

i, ouverture inférieure du grand cylindre à vapeur.

k, ouverture supérieure.

l, mécanisme appliqué au jeu des soupapes.

m, lévier oscillant mu par la tige *g* du piston.

n, conduit pour faire parvenir la vapeur de la chaudière au grand cylindre.

p, pompe qui aspire l'eau fraîche, nécessaire au réfrigérent.

q, pompe qui aspire l'eau chauffée par la vapeur.

H, volant mis en mouvement par la tringle *h'v*, et par les roues dentées *r*, *s*. On a donné à cet engrenage, imaginé par *Watte*, le nom de *mouche*.

r, roue d'engrenage fixée sur *h'v*, qui communique un mouvement de rotation à la roue d'engrenage *s*, sur laquelle elle roule.

s, roue d'engrenage fixée sur l'axe du volant, et qui lui communique son mouvement de rotation.

vh', tringle de communication.

Figures E et F, double tuyau servant à faire parvenir la vapeur dans le grand cylindre, et à la faire sortir, pour se condenser sur le réfrigérent.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, mécanisme qui fait mouvoir les soupapes supérieures.

b, mécanisme qui fait mouvoir les soupapes inférieures.

c, soupape qui favorise et intercepte l'entrée de la vapeur dans la partie supérieure du cylindre.

d, soupape qui favorise et intercepte la sortie de la vapeur de la partie supérieure du cylindre, pour se porter dans le réfrigérent.

e, soupape qui favorise et intercepte l'entrée de la vapeur dans la partie inférieure du cylindre.

f, soupape qui favorise et intercepte la sortie de la vapeur de la partie inférieure du cylindre, pour se porter dans le réfrigérent.

Bien entendu que les soupapes *c*, *f*, sont ouvertes à-la-fois; la première, pour laisser entrer la vapeur dans la partie supérieure; la seconde, pour faire porter la vapeur inférieure dans le réfrigérent, tandis que les soupapes *d*, *e*, sont fermées; de même les soupapes *d*, *e*, sont ouvertes simultanément, pendant que celles *e*, *f*, sont fermées.

g, tuyau d'arrivée de la vapeur, pour se porter dans le cylindre.

h, tuyau de sortie de la vapeur, pour se porter dans le réfrigérent.

Figure G, manière de transporter le mouvement de va et vient d'une machine à vapeur à une machine soufflante.

Figure I, cylindre d'une machine soufflante.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXI.

N° 388, *page* 123, *Figure* A. Manière simple de transporter le mouvement du piston d'une machine à vapeur au piston d'une machine soufflante, en plaçant cette seconde au-dessus ou au-dessous de la première.

a, cylindre de la machine à vapeur.

b, piston que la vapeur fait mouvoir, en le comprimant dans les parties inférieures ou supérieures.

c, ouverture par laquelle la vapeur entre et sort dans la partie inférieure du cylindre.

d, ouverture d'entrée et de sortie de la vapeur dans la partie supérieure du cylindre.

e, tuyau par lequel arrive la vapeur dans les parties supérieures ou inférieures du cylindre.

f, *f*, cylindres de la machine soufflante placée dans la partie inférieure.

g, piston d'aspiration et d'expiration de l'air, mu par une tige qui communique aux deux pistons de la machine soufflante et de la machine à vapeur.

h, *h*, ame, ou soupape d'aspiration.

i, porte-vent.

n, soupape d'expiration.

k, *k*, cylindre de la machine soufflante, placée dans la partie supérieure.

l, piston de la machine soufflante, mu par celui de la machine à vapeur, auquel il communique par une tige.

m, *m*, ame, ou soupape d'aspiration de l'air.

o, soupape d'expiration.

p, porte-vent.

N° 389, *pages* 123 *et* 124. Moyen de communiquer le mouvement d'une machine à vapeur à une machine soufflante.

Figure B, machine à simple effet.

a, cylindre à vapeur.

b, piston.

c, ouverture inférieure par laquelle la vapeur entre et sort pour se condenser dans le réfrigérent.

d, ouverture d'entrée de la vapeur, pour comprimer le piston et le faire descendre.

e, tuyau de passage de la vapeur en arrivant de la chaudière.

f, *f*, cylindre de la machine soufflante.

g, piston.

h, ame, ou soupape d'aspiration.

i, soupape d'expiration.

k, porte-vent.

l, *m*, balancier qui communique le mouvement du piston de la machine à vapeur à celui de la machine soufflante.

o, centre d'oscillation.

P, poids qui fait baisser le piston *g*, et fait soulever le piston *b*, lorsque la vapeur presse également dessus et dessous ce dernier.

Figures C et D. Détail de l'arrangement des chaînes, fixées à l'extrémité d'un balancier, et sur la tige verticale des pistons qui ont deux mouvements directs; l'un d'élévation, l'autre d'abaissement.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, partie de la chaîne *ab*, fixée à l'extrémité de la tige du piston.
b, partie de la même chaîne, fixée sur la partie inférieure de l'arc de cercle du balancier.
d, partie de la chaîne *df*, fixée sur la partie supérieure de l'arc de cercle du balancier.
f, partie de la même chaîne, fixée sur la partie inférieure de la tige du piston.
Figure E, système de deux balanciers ordonnés de manière que la partie supérieure *c*, de la tige du piston, se meuve dans une direction verticale.
a, extrémité du balancier inférieur.
b, extrémité du balancier supérieur.
a, *c*, *b*, tringle de fer qui réunit les deux balanciers, et qui rend leurs mouvements simultanés.
c, point d'attache de la tige *c*, *d*, du piston.
c, *d*, tige du piston.
Figure F, tracé de la courbe, décrite par le mouvement du point *c*, milieu de la bande *b*, *c*, *d*, qui réunit deux balanciers oscillants *do*, *bp*; le premier, sur le centre *o*; le second, sur le centre *p*.
abcdefg, courbe en huit de chiffre, engendrée par le mouvement du point *c*.
bcd, ligne verticale, faisant partie de la courbe *abcdefg*, engendrée par le point *c*, et dans laquelle on limite le mouvement de ce point.
od, balancier inférieur.
o, centre d'oscillation du balancier *od*.
pb, balancier supérieur.
p, centre d'oscillation du balancier *bp*.
Figure G, autre système de deux balanciers, dont le mouvement est tel, que le point *c*, extrémité de l'un d'eux, a un mouvement vertical : c'est sur ce point que l'on fixe la partie supérieure de la tige *cd* du piston.
a, extrémité du balancier inférieur.
ab, tige qui communique aux deux balanciers, et qui régularise leur mouvement.
c, point d'attache de l'extrémité de la tige du piston.
cd, tige du piston.

N° 390, *page* 125. Diverses manières de communiquer le mouvement aux pistons des machines soufflantes.

Figures H et I, machine soufflante à jet d'air alternatif.

Figure H, machine soufflante, dont le piston est mu par un balancier; celui-ci communique avec la tige du piston par deux chaînes.

Figure I, machine dont le balancier principal *a* communique son mouvement à un second balancier *b*, par le moyen d'une tringle *ik*.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

c, tige du piston.

d, piston.

e, *e*, ame, ou soupape d'aspiration.

f, soupape d'expiration.

g, porte-vent.

ik, tringle qui communique le mouvement du balancier *a* au balancier *b*.

Figures K, L, M, N, machine soufflante à jet continu.

Figures K, L, M, machine soufflante à deux pistons dans un seul cylindre. Ces deux pistons se meuvent en sens contraire. Le piston inférieur aspire constamment l'air en descendant; mais, lorsqu'il monte, et que le piston inférieur descend, l'air passe à travers la soupape du second piston, et sort par celle d'expiration. De même, pendant que le piston inférieur descend pour aspirer de l'air, et que le piston supérieur remonte, l'air, resté dans la partie supérieure, est forcé de sortir par la soupape d'expiration.

Dans ces trois figures, le piston supérieur est mis en mouvement par le balancier supérieur; mais, dans la première, ce balancier communique directement, soit à la machine à vapeur, soit à la roue hydraulique, tandis que, dans les deux autres, l'axe de l'une ou de l'autre de ces machines, communique à celui de la petite roue dentelée *c*, qui communique elle-même à la machine soufflante.

Figure K; le balancier inférieur est mis en mouvement par une tringle de fer *o*, *q*, qui lui communique un mouvement tout-à-fait semblable à celui du balancier supérieur. Une roue dentelée *c*, placée entre l'extrémité du balancier et la tige du piston inférieur, donne à celui-ci un mouvement opposé à celui du premier piston.

Figure L; sur l'axe du volant de la machine à vapeur, ou d'une roue

hydraulique, est fixée une roue double; chaque roue simple est divisée en quatre parties; les deux parties opposées sont dentelées. Dans chaque roue la partie dentelée de l'une correspond à la partie unie et lisse de l'autre ; lorsque la roue dentelée, correspondante au balancier inférieur, engrène dans celui-ci pour l'élever, celles qui correspondent à la crémaillère de la tige verticale du lévier supérieur échappent, et celui-ci descend par le bas, par l'effort du poids *d*; de même, dès que le balancier inférieur, échappé à l'engrenage, tombe, parce qu'il est entraîné par le poids *r*; la crémaillère de la tige du balancier supérieur engrène, et celui-ci est soulevé : d'où il résulte deux mouvements opposés dans les deux balanciers, qui communiquent également aux pistons qui leur correspondent.

Figure M; la roue qui est dentelée à moitié est fixée sur l'arbre du volant de la machine à vapeur, ou sur l'arbre de la machine hydraulique; les engrenages du balancier inférieur et de la tige du piston inférieur engrènent alternativement. Ainsi, lorsque le piston inférieur est soulevé, le balancier *b* inférieur, tombant par son propre poids, entraîne l'extrémité opposée *o* du balancier supérieur, et celui-ci est soulevé : de même, lorsque la roue engrène dans le balancier inférieur, et le soulève pour faire abaisser le piston supérieur; un contre-poids *d*, placé à l'extrémité d'un second lévier inférieur *e*, entraîne le piston et le soulève; d'où il résulte encore deux mouvements opposés dans ces pistons.

Ces exemples suffisent pour faire concevoir le parti qu'on peut tirer des différentes machines appliquées à deux balanciers.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, balancier supérieur, appliqué à la tige du piston supérieur.
b, extrémité du balancier inférieur qui communique à l'axe de rotation, et au balancier supérieur.
c, roue dentelée, en tout ou en partie, qui détermine les mouvements en sens contraire des deux balanciers.
d, *r*, poids qui entraîne le balancier, lorsque la roue dentelée échappe à l'engrènage qui lui correspond.
e, extrémité du balancier inférieur, appliqué au piston placé dans cette partie.
f, tige du piston inférieur.
g, *g*, grand cylindre des machines soufflantes.

h, piston inférieur.

i, piston supérieur.

k, *k*, ame, ou soupape d'aspiration.

l, *l*, soupape du piston supérieur, à travers laquelle l'air passe dans la partie supérieure du cylindre.

m, soupape d'expiration.

n, tige du piston supérieur.

o, points du balancier supérieur où sont fixées les tringles de communication entre les deux balanciers.

o, *q*, tringle de communication.

p, porte-vent.

Figure N, machine soufflante à deux cylindres, pour régulariser la sortie, et rendre le jet continu.

a, manivelle du balancier de la machine à vapeur, ou de la roue de la machine hydraulique.

a, *b*, tringle de communication de la manivelle avec un balancier oscillant.

c, *d*, extrémité du balancier communiquant aux tiges des pistons de deux machines soufflantes, et qui leur donne un mouvement opposé.

e, *f*, tige des pistons des deux machines.

g, *h*, pistons; pendant que le premier descend, le second monte, et réciproquement.

i, *i*, *i*, *i*, ame, ou soupape d'aspiration.

k, *k*, *l*, *l*, cylindre des machines soufflantes.

m, *n*, soupape d'expiration.

p, porte-vent.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXII.

N° 424, *pages* 179, 180, 181. Instruments avec lesquels on sépare, mesure et charrie le combustible, le minérai et le fondant, que l'on charge dans les hauts fourneaux.

Figures A, B, C, D, brouettes représentées en projections horizontale et verticale.

Figure A, brouettes de bois pour transporter les paniers ou les corbeilles de charbon.

Figure B, brouettes de fer pour transporter les fers, saumons, fragments de fonte, et même les scories chaudes.

Figure C, brouettes de bois, pour transporter les minérais, les fondants, et les scories froides.

Figures E, F, G, H, I, K, L, M, N, chariots, corbeilles, mesures, pour transporter et mesurer les minérais, les fondants, et les charbons. Tous ces objets sont projetés horizontalement et verticalement.

Figure E, caisse de bois, montée sur une espèce de brouette, servant à transporter le charbon.

Figure F, caisse de bois, supportée par deux léviers en forme de civières, pour transporter le charbon.

Figure G, *korbe* de Wolfsberg en Carinthie, voiture d'osier pour transporter le charbon.

Figures H, I, *rasse*, *van*, *corbeille*, espèces de paniers semblables au van avec lequel on vanne le grain, qui sert ici à mesurer le charbon, et à le contenir, pour le transporter sur des brouettes.

Figure K, *zeuge*, espèce de panier servant à mesurer et à transporter le charbon, à *Oln* en Westphalie; 4 *zeuges* font une charretée, et 10 une charge.

Si l'on veut avoir plus de détails sur quelques autres mesures de charbon, on peut consulter les planches 5 et 6, ainsi que les pages 17 et 18 du second volume de la Fonte des mines, de Schlutter.

Figure L, *conche*, morceau de bois creusé, servant à mesurer et à transporter le minérai et les fondants.

Figure M, *ertz kübel*, mesure de mines de Wolfsberg, en Carinthie.

Figure N, *tourq*, ou *fat*, mesure de minérais employés en Suède.

Figures O, P, instruments employés au gueulard des fourneaux.

Figure Q, *bécasse*, avec laquelle on sonde le gueulard, pour s'assurer si la charge est descendue, et si l'on en peut placer une nouvelle.

Figure P, masse servant à comprimer le charbon, et le minérai chargé par le gueulard.

Figures Q et R, instruments employés dans les charbonnières.

Figure Q, projection horizontale et verticale d'un *rable*.

Figure R, projection horizontale et verticale d'un *rateau*.

N° 425, *page* 181. Instruments employés dans les bas fourneaux.

Figure S, grand ringard, gros lévier de fer avec lequel on manœuvre dans le devant du fourneau.

Figure T, petit ringard.

Figure U, *kreutz-stangen*, barre de fer crénelée, qu'on place dans l'em-

brasure de la coulée; elle sert à soutenir les ringards lorsqu'on veut manœuvrer dans le devant du fourneau.

Figures V, X, Y, différentes sortes de crochets servant à retirer les crasses, les scories, et les matières infusibles qui s'attachent aux parois des creusets.

Figure Z, *torchette*, espèce de verge, ou de spatule de fer, employée pour nétoyer l'ouverture de la tuyère et boucher le trou de la coulée.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXIII.

N° 425, *page* 181. Divers instruments employés dans le bas des hauts fourneaux.

Figure A, *charrue*, espèce de pioche triangulaire avec laquelle on creuse la rigole de la coulée, et le moule de la gueuse.

Figure B, *béches* pour creuser le sable, et transporter les terres.

Figure C, autre espèce de charrue.

Figure D, *schaufel*, pelle de fer avec laquelle on porte, en Carinthie, les morceaux d'argile qui servent à boucher le trou de la coulée.

Figure E, *hoefen krich*, crochet de fer servant, en Carinthie, à retirer les crasses du creuset, et à aplatir le bouchon d'argile placé dans le trou de la coulée.

Figures F, G, baguettes de fer avec lesquelles on imprime, dans les moules, le numéro des gueuses.

Figure H, gueuse posée sur les rouleaux, pour être transportée à sa destination.

Figures I, K, L, léviers de fer qui servent à remuer les gueuses, les saumons et les gros fardeaux.

Figure M, *flossen hünde*, lévier de bois et de fer, avec lequel on remue les flosses en Carinthie.

Figure N, *flossen wagen*, chariot de fer servant à transporter les flosses en Carinthie.

Figure O, balance romaine pour peser les saumons, les gueuses, et toutes autres grosses masses.

Figure O', balance romaine suspendue à trois perches, employée à peser une gueuse.

Figure P, grilles, crochets, ou étriers, avec lesquels on suspend les masses, les saumons et les gueuses.

N° 426, *pages* 182 *et* 183. Diverses formes de tuyères.

Figure Q, tuyère ordinaire, formée d'un demi-cône et d'un demi-cylindre.

Figure R, tuyère conique, employée lorsqu'on veut donner au jet d'air une faible convergence, et qu'on veut brûler une quantité moyenne d'oxigène devant la tuyère.

Figure S, tuyère conique, terminée par un cylindre, employée pour donner au jet d'air la forme d'un cylindre, et pour brûler peu d'oxigène devant la tuyère.

Figure T, tuyère conique, terminée par un cône beaucoup plus obtus, employée pour donner au jet d'air une grande divergence, et pour brûler beaucoup d'oxigène devant la tuyère.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, pavillon de la tuyère.

b, bouche, ou œil.

N° 427, *pages* 148 et 149. Diverses positions de la tuyère.

Figure U, projection horizontale de la position ordinaire de la tuyère.

Figures V, X, Y, Z, projections verticales de diverses positions qu'on peut donner à la tuyère.

Figure V, position horizontale de la tuyère, pour donner à l'air une vîtesse ascensionnelle moyenne, et faire consumer une moyenne quantité de charbon dans l'ouvrage.

Figure X, tuyère inclinée vers le bas, pour donner à l'air le plus petit mouvement ascensionnel, brûler la plus grande quantité de combustible dans l'ouvrage, et diminuer la température des étalages.

Figure Y, tuyère inclinée vers le haut, pour donner une grande vîtesse ascensionnelle à l'air, et augmenter la température des étalages.

Figure Z, moyens pratiqués dans l'*Eiffel*, pour incliner momentanément le jet d'air, en recouvrant la bouche de la tuyère avec du laitier. Ce moyen est employé pour affiner la fonte dans le creuset du haut fourneau.

N° 443, *pages* 202 *et* 203. Manière dont le minérai se charge sur le charbon.

Figure A*a*, placement du minérai dans un creux formé au milieu de la masse du charbon, lorsqu'on vient de mettre en feu, et qu'on place les premières charges.

Figure A*b*, placement du minérai sur une surface de charbon horizontale, lorsque le fourneau commence à échauffer.

Figure Ac, placement du minérai sur une surface convexe des charbons, lorsque le fourneau est échauffé.

N° 448, *page* 207. Différentes formes que l'on donne aux moules, pour couler la fonte.

Figure A*d*, A*i*, creux prismatique triangulaire, pour couler des gueuses.

Figure A*e*, creux prismatique rectangulaire, pour couler des saumons.

Figure A*f*, suite de creux en forme de prisme rectangulaire, communiquant les uns aux autres par une petite rigole cylindrique, pour couler des plaques.

Figure A*g*, creux paraboloïdal, pour couler la fonte qu'on veut lever en *blette*, c'est-à-dire, en feuilles très-minces.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXIV.

N° 497, *Figure* K, *page* 258. Des moules à découvert.

a, creuset du haut fourneau.

b, trou du chio, ou de la coulée.

c, la dame.

be, rigole par où doit arriver la fonte, pour couler dans les moules *d*, *d*, *d*.

d, *d*, *d*, moules creusés dans le sol de l'embrâsure de la coulée.

N° 499, *page* 259. Instruments qu'on emploie pour faire les moules à découvert.

Figure A, charrue, ou espèce de pioche avec laquelle on creuse le sol de l'embrâsure.

Figure B, pelle de fer, pour diviser et transporter le sable du moule.

Figure C, rabot, pour étendre et unir le sable.

Figure D, modèle, en bois ou en métal, de l'objet qu'on veut obtenir, et avec lequel on forme le creux du moule.

Figure E, marteau, ou maillet de bois, pour comprimer la terre du moule, et enfoncer le modèle.

Figure F, niveau servant à placer horizontalement le modèle.

Figure G, espèce de couteau de bois en forme de coin, pour équarrir les vides, et enlever les terres tombées dans le moule.

Figure H, petite planche pour unir les surfaces.

Figure I, sac de toile rempli de poussière de charbon, pour saupoudrer la surface du moule.

N° 500, *page* 260. Forme de coulées partielles qui aboutissent à la coulée principale.

Figure L, moule à une seule coulée.

Figure M, moule à deux coulées.

N° 501, *pages* 260 *et* 261. Moules des objets qui doivent avoir de grands creux, de grands vides, ou des feuillures.

Figure N, projection horizontale et verticale du moule d'une plaque de fonte, percée d'un trou circulaire.

Figure O, projection horizontale et verticale du moule d'une plaque de fonte, dans laquelle on doit couserver un trou carré.

a, noyau de terre qui doit conserver l'ouverture.

Figure P, projection horizontale et verticale d'un poids à peser.

Figure Q, moule d'un poids à peser.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, *a*, *a*, poids qui charge la plaque *b*, *b*, sur laquelle est fixée le noyau *c*.

b, *b*, plaque de terre adhérente au noyau *c*.

c, noyau de terre destiné à conserver le vide pratiqué dans l'intérieur du poids, pour y souder l'anneau, et placer le métal nécessaire pour l'étalonner.

d, noyau cylindrique pour conserver l'ouverture dans laquelle doit être placée la tige de l'anneau.

e, *e*, vide du moule que remplit la fonte.

Figure R, moule d'une plaque qui doit avoir des feuillures.

a, *a*, règle de terre servant de noyau, pour conserver le creux des feuillures.

b, *b*, poids placés sur les règles, pour les empêcher d'être soulevées par la fonte.

S, moule d'un poids cylindrique, dans lequel l'anneau est enchâssé dans la fonte.

a, extrémité du porte-anneau, dont l'ouverture, ou l'œil, est enfoncé dans le sable.

N° 503, *page* 263. Coquilles, ou moules en fonte de fer, pour couler des boulets de canon.

Figure T, deux coquilles de moule, que l'on réunit pour former le vide sphérique du calibre du boulet.

a, *a*, jet, ou ouverture par laquelle la fonte liquide entre dans le moule.

Figure U, réunion de plusieurs moules fortement serrés entre des madriers, pour que la fonte ne puisse pas couler entre les faces de séparations, ou les joints des coquilles.

N° 506, *page* 265. Instruments et outils servant à faire les moules en terre.

Figure V, masse pour casser la terre.

Figure X, espèce de couteau pour couper la terre molle et massive.

Figure Y, tamis employé pour passer la terre sèche ou délayée.

Figure II, petite manivelle pour tordre la paille qui sert à garnir les axes sur lesquels on tourne les modèles.

Figures A, A', A", arbres pyramidaux qui servent d'axe aux modèles en terre qn'on tourne dessus.

Figure A, projection horizontale d'un arbre placé sur son châssis.

Figure A', projection verticale et oblique d'un arbre placé sur son châssis.

Figure A", arbre et axe isolés.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, *a*, arbre.

b, *c*, axe de l'arbre.

b, *d*, manivelle pour tourner l'arbre.

e, *e*, châssis sur lequel l'arbre est placé.

B, manivelle en fer.

C, calibre pour donner au modèle les formes et les dimensions qui lui sont propres.

D, compas pour mesurer le diamètre des objets tournés.

E, autre espèce de couteau avec lequel on coupe la terre.

N° 507, *pages* 265 *et* 266. Moulage en terre des objets qui doivent être moulés pleins.

Figure *a*, première opération; la moitié du moule est enfoncée dans le sable.

Figure *b*, formation de la seconde partie du moule sur la première.

Figure *c*, moule terminé avec son jet.

d, modèle.

e, vide du modèle.

j, jet, ouverture par où l'on coule la fonte.

m, manteau.

N° 508, *pages* 266 *et* 267. Moulage de canons avec des moules en terre.

Figure F, arbre entouré de paille tordue, que l'on recouvre ensuite avec de la terre, pour former le modèle.

Figure G, coupe horizontale du modèle en terre, placée sur le châssis sur lequel il a été tourné.

Figure H, projection du modèle du canon tel qu'il doit être; on remarque que la culasse manque à ce modèle, parce que cette partie se moule séparément.

Figure J, moule du canon sans culasse.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

ab, axe de l'arbre.

bc, manivelle.

dd, tourillons.

fg, corps du canon.

l, *l*, liens, ou carcasse de fer qui enveloppe le moule.

m, *masselotte*, masse conservée pour charger le moule de la fonte surabondante, dans laquelle se forment ordinairement les vides dont la partie supérieure des masses de fonte est souvent remplie.

p, pailles cordées qui recouvrent l'arbre.

Figure K, culasse qui se moule séparément, et qui s'attache et se fixe sur le moule du canon.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXV.

N° 509, *page* 268. Méthode employée par M. Brezin, pour mouler des canons en terre.

Figure A, projection horizontale et verticale du moulage d'un canon; le modèle *ctdm* est en bois, ou en métal.

La projection verticale représente le modèle enfoncé à moitié dans le sable, et recouvert ensuite d'une moitié du moule enveloppé des tringles et des carcasses de fer qui le maintiennent solide.

La projection horizontale représente le modèle placé dans une moitié de moule, et disposé à recevoir l'autre moitié qui doit le couvrir.

ab, ligne de séparation du sable et du moule qui le recouvre.

cd, modèle du canon.

m, masselotte.

g, terre grasse qui recouvre le modèle, et forme le moule.

p, plâtre, ou terre plus grossière, qui recouvre la terre grasse, et lui donne de la solidité et de la fixité.

f, *f*, *f*, bandes et carcasse de fer, qui enveloppent les deux parties du moule, et qui servent à les fixer solidement.

N° 510, *pages* 269, 270 *et* 271. Moulage en terre d'une marmite.

Figure B, arbre entouré de paille, sur lequel on doit modeler le corps de la marmite.

Figure C, modèle de la marmite tournée en terre sur l'arbre.

Figure D, coupe verticale représentant la réunion de l'arbre, du modèle, de la chemise, et du manteau du moule de la marmite.

Figure E, manteau du moule, divisé en deux parties, pour retirer la chemise qui recouvre le modèle.

Figure F, moule des anses de la marmite.

Figure G, moule des pieds.

Figure I, manteau du moule, auquel on a réuni les anses et les pieds de la marmite.

Figure K, coupe d'un moule, réunissant toutes les parties qui le composent, et disposé à recevoir la fonte qui doit remplir l'espace qu'occupait la chemise.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a b, axe de l'arbre du modèle.

b c, manivelle de l'axe.

d, arbre sur lequel on forme le modèle.

e, paille tordue qui entoure l'arbre, afin de pouvoir le séparer facilement du modèle.

f, terre grasse qui recouvre la paille, et forme le modèle.

g, chemise, ou espace qui doit remplir la fonte, pour former la marmite.

h, manteau.

i, anses.

j, jets.

k, pieds de la marmite.

Figure H, moule en terre, d'un pied de marmite, formée d'un modèle de cinq pièces qui se retirent séparément.

a b c, trois de ces pièces; dont l'une *b* et l'autre *c*, doivent être divisées en deux parties.

N° 511, *page* 271. Manière de mouler une grande marmite.

L, formation du modèle, en terre, d'une grande marmite.

M, moule entièrement terminé.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

aa, plaque de fonte sur laquelle on construit le modèle.

bb, maçonnerie qui sert de base ou de noyau au modèle.

c, calibre avec lequel on donne au modèle la forme qui lui est propre.

d, axe, autour duquel tourne le calibre.

ee, terre grasse qui recouvre la maçonnerie.

f, chemise du modèle, ou espace que doit remplir la fonte, pour former la marmite.

g, manteau du moule.

N° 512, *pages* 272, 273 *et* 274. Moulage, en terre, des grandes statues.

Figure N, aire murée, dans laquelle est placé le moule de la statue.

ab, la statue.

cc, mur qui l'environne.

d, massif sur lequel elle est fixée.

gg, foyer sur lequel on brûle le combustible avec lequel on chauffe et sèche le moule de la statue.

Figure O, noyau de terre servant à placer la chemise de cire du modèle, afin de pouvoir lui donner l'épaisseur convenable.

a, *a*, *a*, châssis de fer qui maintient et fixe le noyau du modèle.

Figure P, coupe verticale du noyau, revêtu de la chemise de cire, qui constitue le modèle.

Figure Q, modèle entouré des conduits qui servent, les uns de jet par où la fonte pénètre dans le moule, les autres de passage pour la sortie de l'air.

Figure R, coupe du manteau de terre qui recouvre le modèle de cire.

Figure S, bandes et carcasses de fer, qui enveloppent le manteau du moule, afin de lui donner la solidité qui lui est nécessaire.

Figure T, moule enveloppé d'une couche de terre, ou de plâtre, qui recouvre le châssis en fer, et augmente la solidité du moule.

Figure U, moule de la statue, environné des murs, dans l'intérieur desquels on doit embraser le combustible destiné à sécher le moule.

N° 513, *pages* 274 *et* 275. Manière de mouler les très-grandes statues.

Figure V, pièces détachées, de terres grasses ou de plâtre, que l'on monte pour former l'intérieur du moule.

V', coupe horizontale de ce moule.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXVI.

N° 517, *pages* 277 *et* 278. Instruments nécessaires aux moules de sable.

Figure A, châssis en bois, dont on fait ordinairement usage; il est composé de quatre pièces.

a, planche.

b, fausse pièce de dessous, dont les quatre parties sont assemblées à queue d'aronde; elles supportent les *gougeons* qui servent à raccorder cette pièce avec les châssis de corps.

c, châssis de corps, avec les ouvertures dans lesquelles doivent être placés les gougeons.

d, fausses pièces de dessus.

La plupart des châssis ne contiennent que deux pièces; d'autres, trois ou quatre ou un plus grand nombre; celui qui est représenté, *figure* A, est destiné au moulage des marmites.

B, rouleau pour écraser le sable.

C, *racloir* pour affleurer le sable.

D, maillet.

E, le *cogneux*, avec lequel on comprime partiellement le sable.

Figure F, les *battes*.

a, *battes* à anses.

b, *battes* à parer.

c, *battes* rondes.

d, *battes* pyramidales.

Il existe une sixième espèce de batte qui est platte et longue, qu'on nomme *passe-partout*.

G, marteau à une et à deux pannes.

H, *cuiller*.

a, *cuiller*, dont la convexité sert à aplanir l'intérieur des chappes des moules.

b, espèce de gouge.

I, couteau.

a, couteau ordinaire.

b, espèce de gouge servant à vider le sable qui remplit les trous des châssis.

K, *truelle*.

L, *tranche*.

M, *rape* de fonte dont on se sert pour décrouter les pièces.

N, *secoueux* pour rompre les chappes des moules.

O, brosse.

P, bouchon de laine.

Q, *houssoir*.

a, tire-laine, pour retirer les tampons de laine qui bouchent les trous des moules.

R, sac rempli de frésil pour saupoudrer les moules.

N° 519, *pages* 278 *et* 279. Modèles du canon et châssis pour les moules en sable.

Figure S, division du modèle d'un canon; nombre de pièces qui le composent.

a, plate-bande de la volée.

b, astragale de la lumière.

c, *d*, tourillons.

e, renflement du bourrelet à la tranche de la bouche.

f, *g*, oreille de la tige carrée.

h, bouton de la culasse réuni à la tige carrée.

i, culasse.

k, premier renfort.

l, second renfort.

m, modèle de la volée.

n, une partie de la tulipe.

o, massolette.

Figure T, division des châssis qui composent le moule du canon.

a, châssis de la tige carrée et du bouton.

b, châssis de la culasse.

c, châssis du premier renfort.

d, châssis du second renfort et des tourillons.

e, châssis de la volée.

f, châssis de la tulipe.

g, châssis de la massolette.

N° 520, *pages* 279 *et* 280. Moulages successifs des différentes pièces, et arrangements des châssis qui les contiennent.

Figure U, moulage de la tige carrée, du bouton de la culasse et des oreilles de la tige.

Figure V, moulage de la culasse, dont le châssis est placé sur celui de la tige carrée.

Figure X, moulage du premier renfort, dont le châssis est placé sur celui de la culasse.

Figure Y, moulage du second renfort et des tourillons, dont le châssis est placé sur celui du premier renfort.

Figure II, moulage successif de la volée, de la plate-bande, de la tulipe, du renflement du bourrelet et de la massolette, et placement successif des châssis les uns sur les autres.

Figure Z, manière dont les châssis sont ajustés, et fixés les uns sur les autres.

a, clavettes, ou boulons à vis, qui assujétissent et retiennent les châssis.

N°ˢ 523 *et* 524, *pages* 281 *et* 282. Moulage des médailles.

Figure A, châssis ajusté, dans lequel est contenue la terre qui forme le moule des médailles.

Figure B, projection horizontale et verticale du moulage des médailles.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, ajustement de deux pièces du modèle.

b, emplacement du jet.

m, *m*, *m*, position des médailles et de leurs moules.

N° 525, *page* 283. Pièces qui composent les modèles des marmites.

C, corps de marmites.

D, anses.

E, pieds.

F, jet.

N° 526, *pages* 283 *et* 284. Moulage d'une marmite.

Figure G, corps de la marmite moulée, avec ses pieds et le jet, dans les châssis de corps.

Figure H, continuation du moulage dans la fausse pièce de dessus, placée sur le châssis du corps.

Figure J, le moule étant retourné, on place les anses.

Figure K, moulage de l'intérieur de la marmite, après avoir ajusté la fausse pièce de dessous sur le châssis de corps.

Figure L, fausse pièce de dessous, contenant le noyau de l'intérieur de la marmite, séparé du châssis de corps, ainsi que la fausse pièce.

Figure M, châssis de corps, contenant le moule extérieur du corps de la marmite.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, *a*, planche à mouler.

a,' *a*', anses de la marmite.

b, *b*, fausse pièce de dessous.

c, *c*, châssis de corps.

d, *d*, fausse pièce de dessus.

j, jet.

p, *p*, pieds.

N° 527, *page* 284. Pièces qui servent au moulage des bombes.

N, bombe entière avec ses anses.

a, faux axe pour placer un des hémisphères, de manière que son centre corresponde à celui du noyau.

b, *c*, modèle de deux hémisphères composant la bombe.

d, *e*, anses.

f, axe du noyau sphérique, sur lequel le noyau lui-même a été modelé en terre, facile à casser, lorsque la bombe est coulée.

O, O', O'', châssis simple, composé de deux parties *a*, *b*, pour mouler la bombe.

O'', coupe verticale du premier châssis avec le barreau *ef*, et la chappe *cd* de fer, qui servent à fixer l'axe du noyau.

e, *f*, barre de fer.

c, *d*, chappe de fer.

N° 527 *(bis)*, *pages* 284, 285 *et* 286. Moulage des bombes.

f, moulage du noyau.

Figure P, placement et moulage du premier hémisphère, dans le châssis du bas.

Figure Q, placement des anses sur l'hémisphère de la lumière. Ces anses *a*, *a*, sont divisées en deux parties, pour qu'elles puissent facilement sortir du moule; elles sont arrêtées sur l'hémisphère par deux coins de bois *b*, *b*.

Figure R, placement de l'hémisphère de la lumière, armé de ses anses, dans le châssis du bas, pour mouler toutes les parties saillantes de cet hémisphère.

Figure S, placement du second hémisphère et du second châssis, sur le premier, ainsi que les jets *e*, *e*.

Figure T, moule extérieur de la bombe, dans lequel on a retiré les deux hémisphères et les anses.

Figure U, placement du noyau dans l'intérieur du moule de la bombe, afin qu'il ne reste que le vide qui doit être rempli par la fonte.

Figure V, moule terminé, et prêt à recevoir la fonte qu'on doit y couler.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, *a*, anses des bombes.

b, *b*, coins de bois qui soutiennent les anses.

c, *c*, châssis de dessus.

d, *d*, châssis de dessous.

e, *e*, jet.

g, tige de métal fondu sur l'hémisphère de la lumière, pour le fixer sur la chappe.

t, barre et chappe de fer, destinées à fixer la tige de l'hémisphère de la lumière, et l'axe du noyau de la bombe.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXVII.

N° 542, *page* 302. Disposition du creuset d'un fourneau en marchandise, dessin de l'instrument avec lequel on coule les fontes.

Figure A, disposition du creuset.

a, creuset.

b, avant-creuset, ou ouverture de la tympe.

c, masse de laitier, placée pour arrêter celui qui recouvre la fonte, et ne permettre l'entrée, dans l'avant-foyer, que de la fonte pure qui passe sous cette masse de verre terreux.

Figure B, *poche*, espèce de cuiller de fer, avec laquelle on puise cette fonte dans l'avant-foyer.

N° 544, *pages* 302 *et* 303. Hauts fourneaux accolés, afin de réunir assez de fonte pour couler des canons de gros calibre.

Figure C, fourneaux construits à Ruelle.

Figure D, fourneaux de Suède.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

c, creuset.
o, ouvrage.
g, gueulard.
t, embrasure de la tuyère.
a, embrasure de la coulée.
v, canaux d'évaporation.
e, trou pour placer verticalement les moules des canons.

N° 545, *pages* 305, 306 *et* 307. Fourneaux de réverbères, employés pour refondre les gueuses, ou les fontes obtenues dans les hauts fourneaux.

Figure E, projection horizontale et verticale d'un fourneau de réverbère.
f, foyer.
s, sole.
a, porte de l'autel.
o, cheminée.

Figure F, coupe verticale, dans le sens de la longueur d'un ancien fourneau anglais.

Figure G, plan horizontal du même fourneau.

Figure H, coupe verticale, dans le sens de la largeur.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, porte latérale.
c, creuset où se réunit la fonte liquide.
f, foyer.
o, ouverture par laquelle on coule la fonte.
p, porte de devant.
s, sole.

Figure I, plan d'un fourneau français.

Figure K, coupe verticale, dans le sens de la largeur.

Figure L, coupe verticale, dans le sens de la longueur.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, foyer.
c, cheminée.
d, porte latérale.
f, ouverture du foyer, pour charger le combustible.
o, creuset.
p, ouverture du devant.

Figure M, plan d'un fourneau anglais.

Figure N, coupe verticale, dans le sens de la longueur.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, foyer.

c, cheminée.

d, porte latérale.

f, ouverture du foyer.

p, ouverture du devant.

Figure O, forme de l'ouverture de la cheminée, prise dans l'intérieur du fourneau.

a, registre pour varier la grandeur de cette ouverture.

Figure P, excavation pratiquée sous le cendrier, pour augmenter le courant d'air, nettoyer commodément les grilles, et recevoir les escarbilles.

N° 546, *page* 308. Différentes assiettes, ou fondation de sole de fourneau de réverbère.

Figure Q, sole placée sur un massif de maçonnerie.

Figure R, sole placée sur une voûte.

Figure S, sole placée sur une plaque de fonte.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XXXVIII.

N° 546, *pages* 309 et 310. Fourneaux de réverbère accolés.

Figure A, projection horizontale, et coupe verticale de deux fourneaux de réverbère accolés.

Figure A', projection verticale oblique du même fourneau.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, ouverture de devant.

b, porte latérale.

c, ouverture du foyer pour charger le combustible.

d, cendrier de dessous du foyer, et entrée de l'air.

e, escalier pour descendre dans le cendrier.

f, cheminée.

g, voûte pratiquée sous la sole du fourneau, pour détruire l'effet de l'humidité.

h, grille du foyer.

s, sole.

N° 548, *page* 312. Machines et instruments pour recevoir, transporter la fonte, et la vider dans les moules.

Figure B, projection horizontale et verticale des chaudières destinées à recevoir la fonte, et la transporter dans les moules.

a, *a*, barres de fer qui entourent la chaudière, ou manches qui servent à la transporter.

c, *c*, chaudière de fonte, enduite de terre intérieurement et extérieurement, pour empêcher le fer de s'attacher à ses parois.

l, *l*, *fléau*, ou grand lévier de fer, fixé à une mouffle, pour suspendre la chaudière.

t, *t*, tringles, ou crochets de fer qui attachent la barre *aa*, au fléau *l*, *l* et qui suspendent la chaudière.

Figure C, grue, à l'extrémité de laquelle est une moufle pour soulever la chaudière, et la transporter au-dessus des moules.

a, *b*, emplacement circulaire, dans lequel les moules se placent. Cet espace est creusé de manière à y placer les moules des grandes pièces: il sert aussi d'étuves dans un grand nombre d'usines. C'est dans ce trou qu'on sèche les moules.

p, poteau mobile sur des pivots.

p d, assemblage de la grue.

m, moufle pour soulever les corps pesants.

n, treuil et mécanisme pour mouvoir la moufle, et soulever les corps.

N° 550, *pages* 313, 314 *et* 315. Différents fourneaux à manche, pour refondre la gueuse.

Figure E, petit fourneau à poche, décrit par Réaumur.

a, poche, ou creuset du fourneau, qu'on démonte, et que l'on transporte, pour vider la fonte qu'elle contient.

b, cuve, ou cheminée de fourneau.

c, tuyère.

s, soufflet.

Figure F, fourneau portatif, imaginé par Réaumur, pour remplacer le fourneau à poche.

a, axes sur lesquels le fourneau peut osciller.

c, châssis qui le supporte.

g, gueulard du fourneau.

l, lévier qui fait mouvoir le soufflet.

s, soufflet.

Figure G, fourneau cylindrique de Gleiwitz, dans la Haute-Silésie.

Figure H, fourneau hexagonal des fonderies de Paris.

DÉTAILS GÉNÉRAUX.

a, enveloppe cylindrique, ou hexagonale en fonte.

b, *b*, terre grasse qui remplit l'intérieur.

c, creuset.

p, trou de la percée.

t, tuyère.

v, cuve, ou cheminée du fourneau.

N° 553, *page* 317. Différents fourneaux à creuset, pour fondre le fer.

Figure K, fourneau à vent, imaginé par Maquer.

Figure I, fourneau à vent et à soufflet, des fondeurs de cuivre.

a, cendrier par lequel l'air arrive sous la grille, soit directement, soit à l'aide des soufflets.

b, ouverture pour placer les creusets *o*, et pour charger les charbons.

c, cheminée.

o, creuset.

v, espace dans lequel la combustion a lieu.

N° 559, *pages* 322 *et* 323, *Figure* L. Manière d'alléser les cylindres.

LN, cylindre à alléser, placé de manière que son axe coïncide avec l'axe de l'arbre *b*,

a, ciseaux à lames d'acier, mobiles et tranchants, avec lesquels on allèse le cylindre.

b, arbre mu par une roue hydraulique *r*, sur lequel est placé le ciseau de l'allésoir.

N° 560, *page* 323. Travail que subissent les canons de fonte de fer, après avoir été coulés.

Figure O, placement du canon, pour le disposer à être foré.

a, *a*, pièces de fonte qui soutiennent le canon dans deux collets, et qui lui permettent de tourner, sans se déranger.

b, boîte qui fixe le boulon sur l'arbre de la roue hydraulique, pour obliger le canon à tourner avec elle.

c, pièce de canon à forer.

d, châssis qui portent les forets, et qui les compriment sur le fond de la pièce, pour les faire avancer dans l'intérieur.

e, crémaillère qui fait marcher le châssis.

f, foret qui perce la pièce.

h, roue à eau, ou volant d'une machine à vapeur qui entraîne le canon, et le force à prendre un mouvement de rotation.

r, roue qui fait mouvoir la crémaillère, et détermine, par ce mouvement, la pression du foret contre la pièce.

Figure P, machine employée pour couper la masselotte.

a, ciseaux d'acier, fixés dans un lévier *b*, pour couper la masselotte.

b, lévier de fer qui détermine l'effort que doivent faire les ciseaux, pour couper la masselotte.

c, profil de la pièce du canon.

d, châssis dans lequel le canon est maintenu, pendant que l'on coupe la masselotte, ou qu'on le fore.

Figure T, détails du châssis qui porte le foret.

c, châssis.

e, crémaillère.

f, foret.

N° 561, *page* 324. Détails des forets employés à percer les canons.

Figure Q, premier foret avec lequel on perce la pièce.

a, extrémité tranchante dont la forme est en langue de carpe.

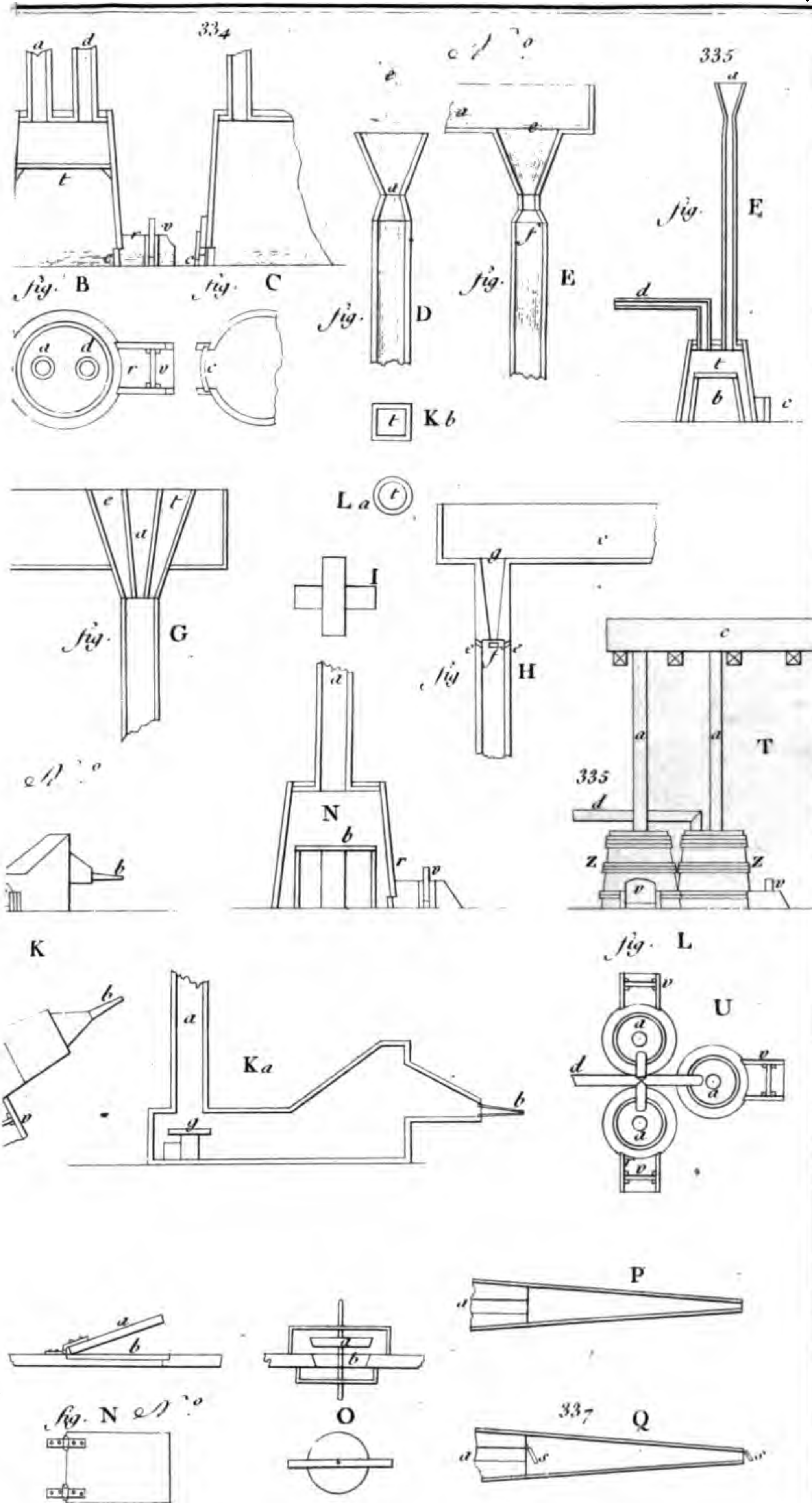
b, lame à deux tranchants, plus grande que la langue de carpe, afin d'agrandir l'ouverture formée par cette dernière.

c, seconde lame à deux tranchants, plus longue que la première, pour agrandir encore l'ouverture : la longueur de cette dernière doit peu différer du diamètre du vide de la pièce.

Figure R, foret de la pièce du fond, destiné à détruire les redents formés par les lames du foret, et à aplanir le trou conique formé par la langue de carpe ; la lame inférieure a un double biseau.

Figure S, allésoir : cet instrument est formé de deux lames d'acier, terminées en biseau ; il sert à calibrer le vide du canon.

FIN DE L'EXPLICATION DES PLANCHES DU SECOND VOLUME.


334
fig. B
fig. C
fig. D
fig. E
335
fig. E
K b
L a
I
fig. G
fig. H
N
T
335
K
K a
fig. L
U
P
fig. N
O
337
Q

N.° 339

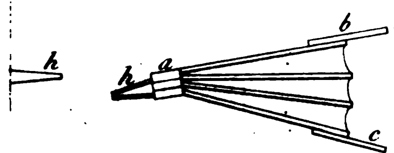


fig. C.

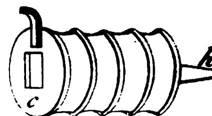


fig. B.

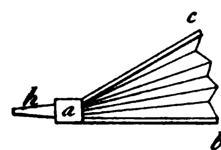
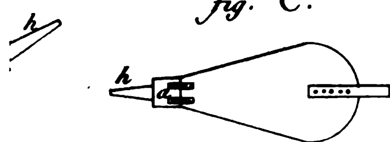


fig. A



N.° 340

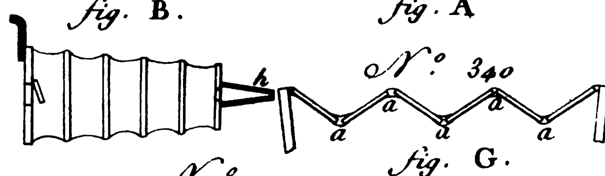


fig. G.

N.° 342

N.° 341

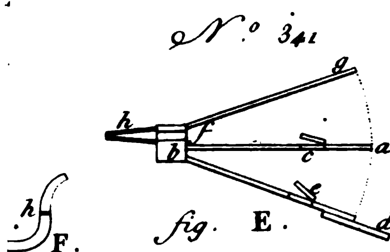


fig. E.

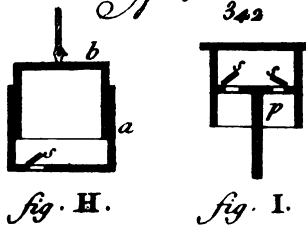


fig. H.

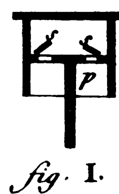


fig. I.

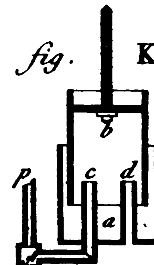
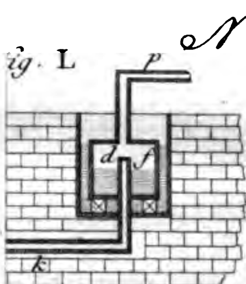
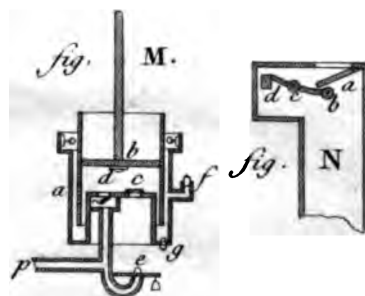


fig. K

F.

N.°







343

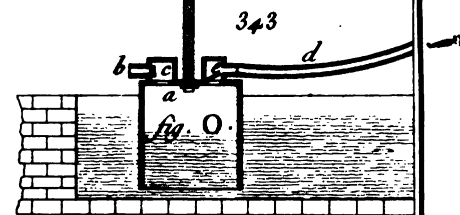
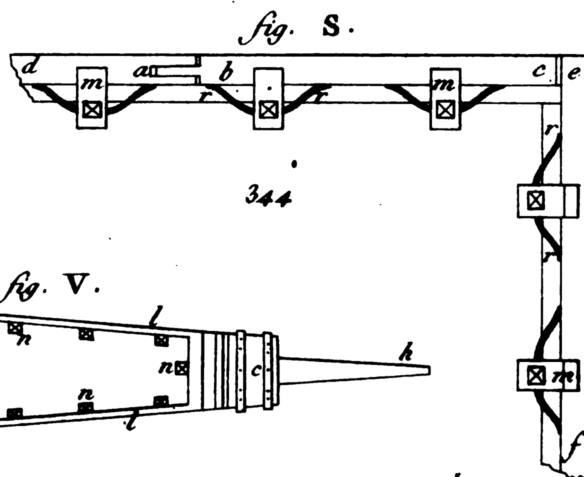




fig. S.



344

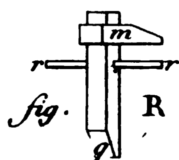
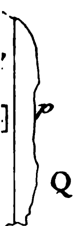
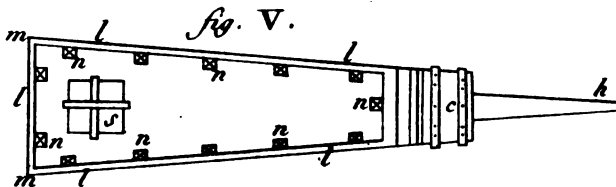


fig. R



Q

fig. V.



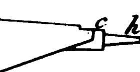
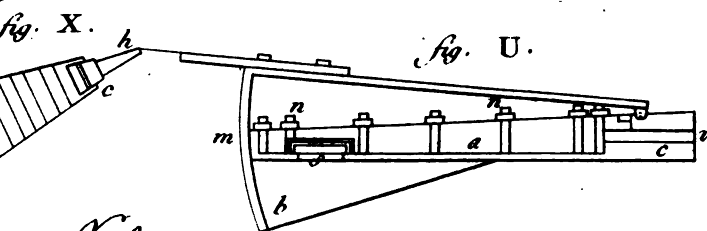
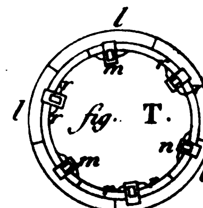


fig. X.

fig. U.

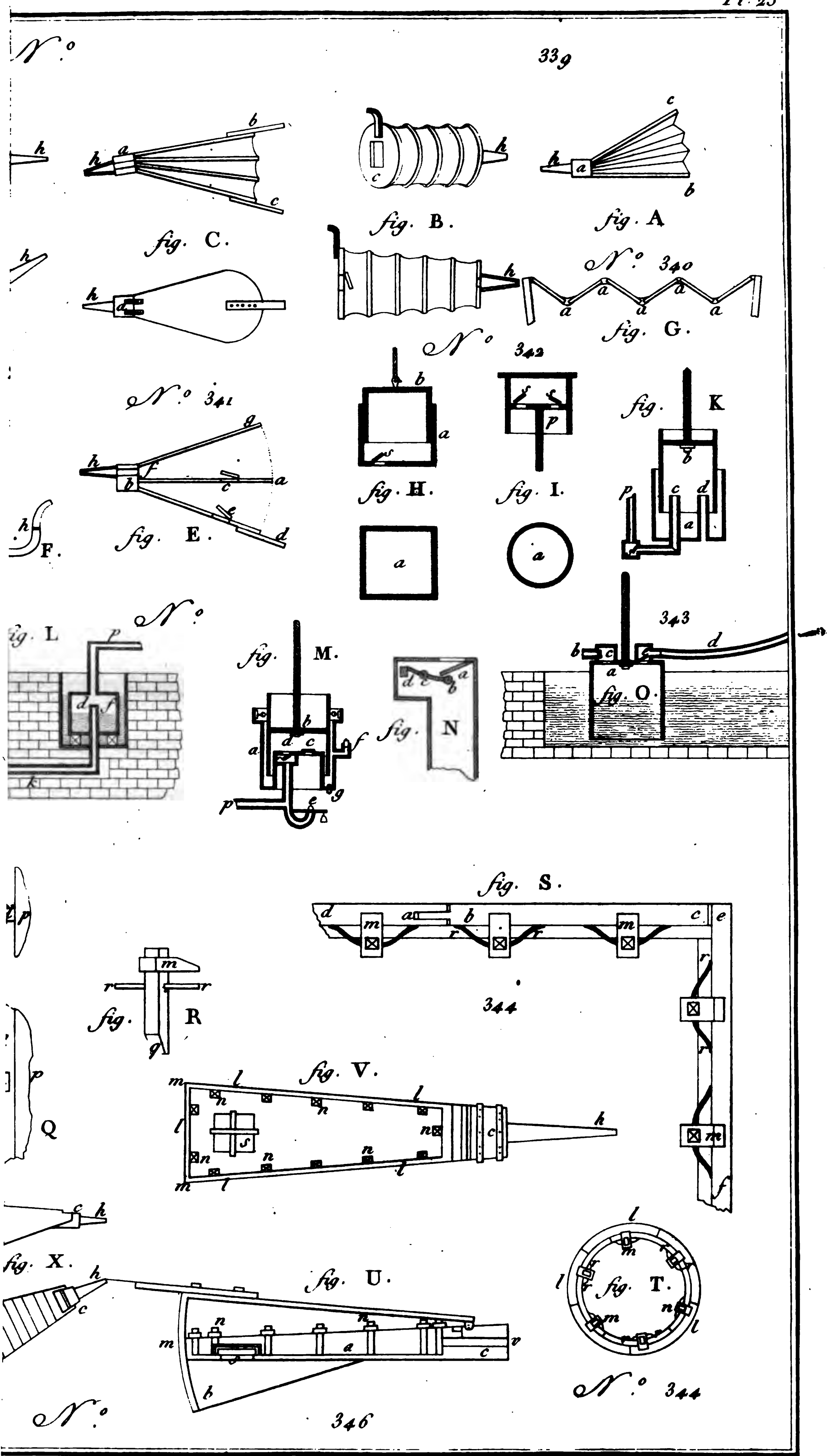




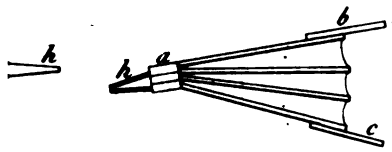
N.° 344

N.°

346


N.° 339
fig. A
fig. B.
fig. C.
N.° 340
fig. G.
N.° 341
fig. E.
F.
N.° 342
fig. H.
fig. I.
fig. K
N.° 343
fig. L
fig. M.
fig. N
fig. O.
fig. S.
344
fig. R
fig. V.
Q
fig. X.
fig. U.
fig. T.
N.° 344
N.° 346

N° 339



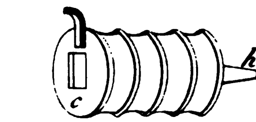


fig. B.

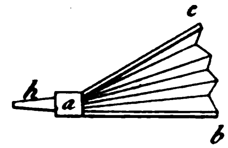
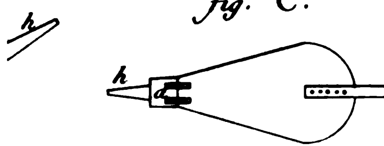


fig. A

fig. C.



N° 340

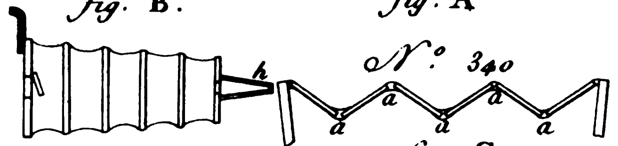


fig. G.

N° 342

N° 341

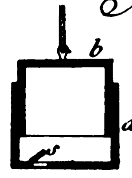


fig. H.

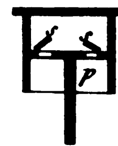


fig. I.

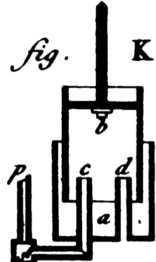


fig. K

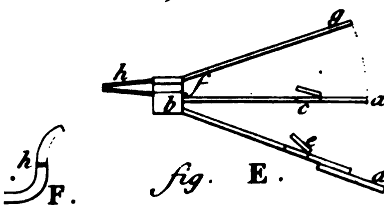
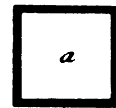
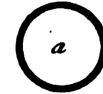


fig. E.



F.





N°

N° 343

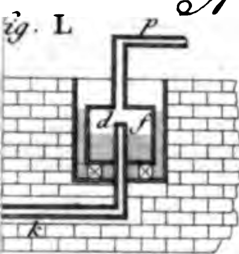


fig. L

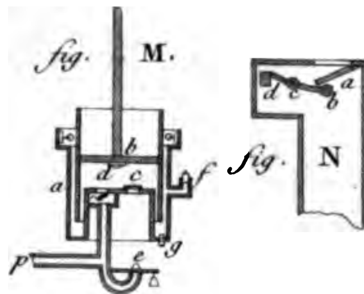


fig. M.

fig. N

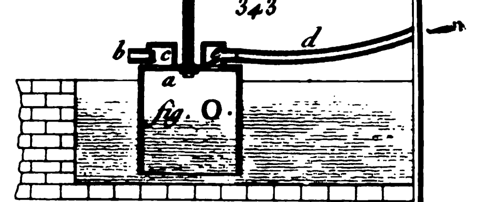


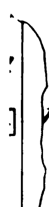
fig. O.

fig. S.



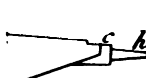
fig. R

344



Q

fig. V.



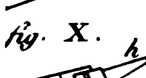


fig. X.

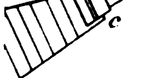
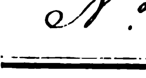


fig. U.



fig. T.



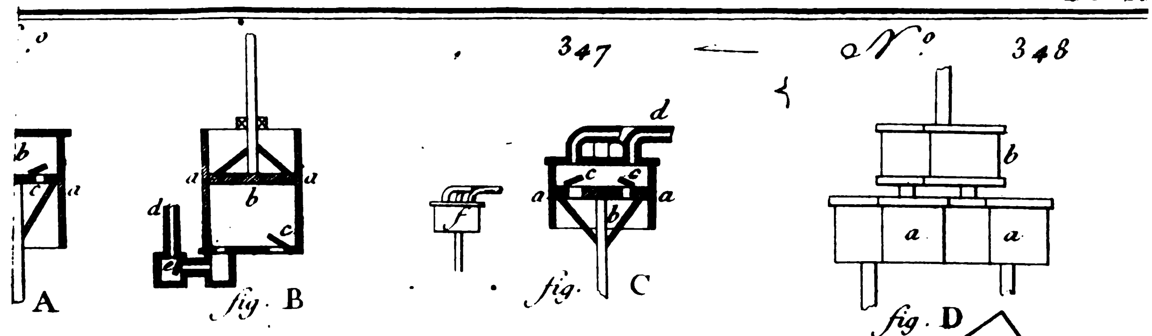


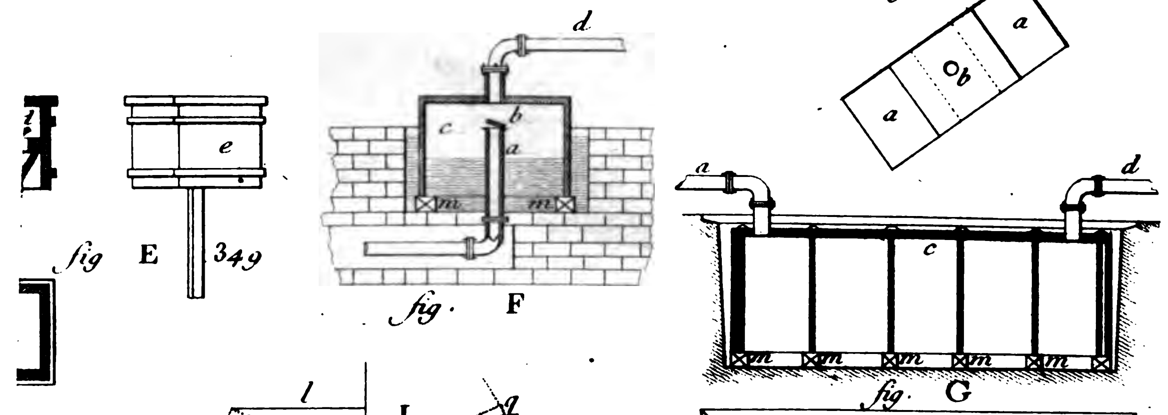


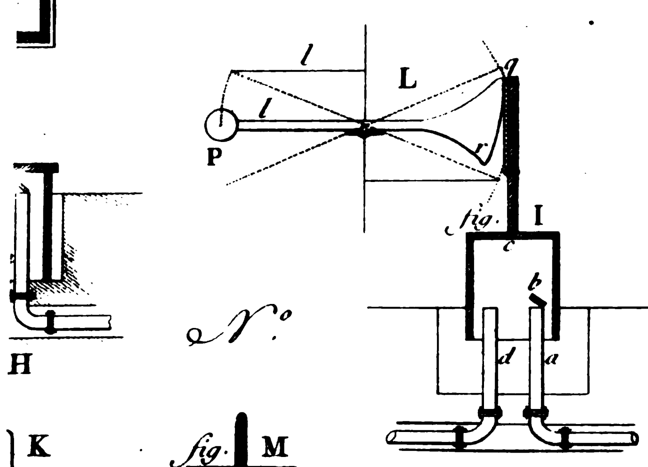


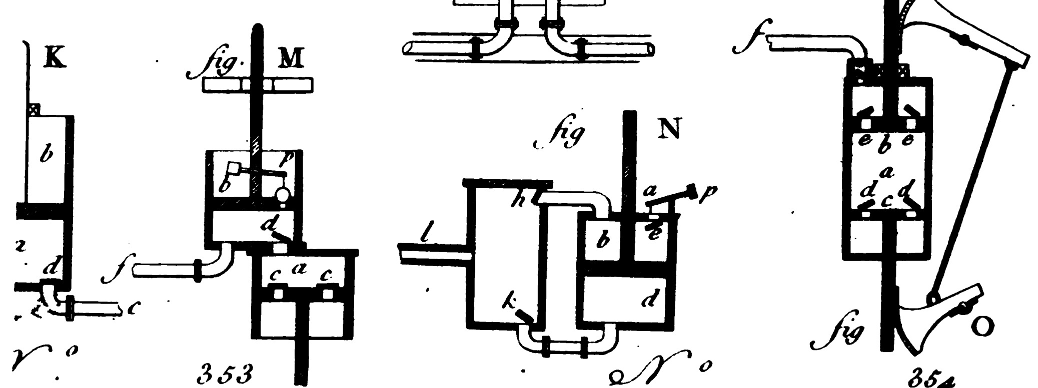
N° 344

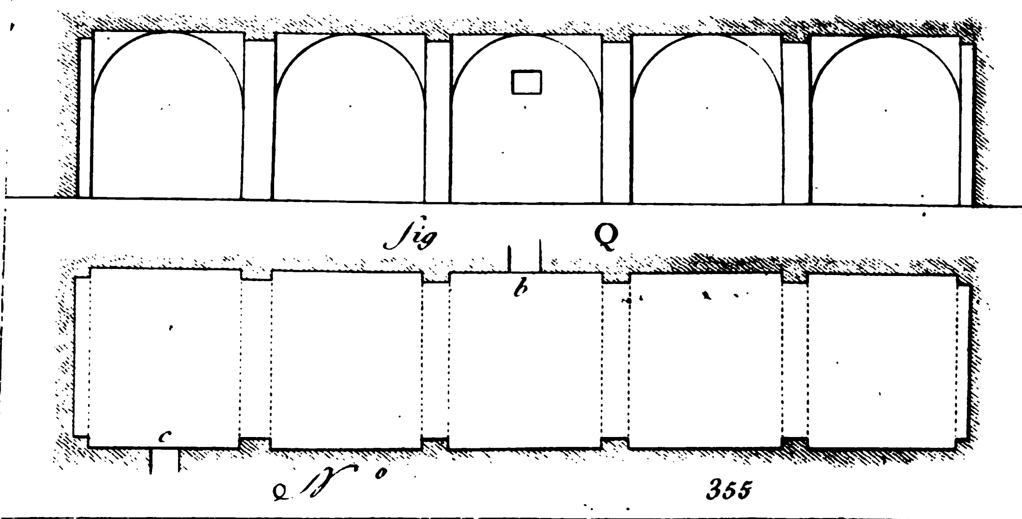
N° 346

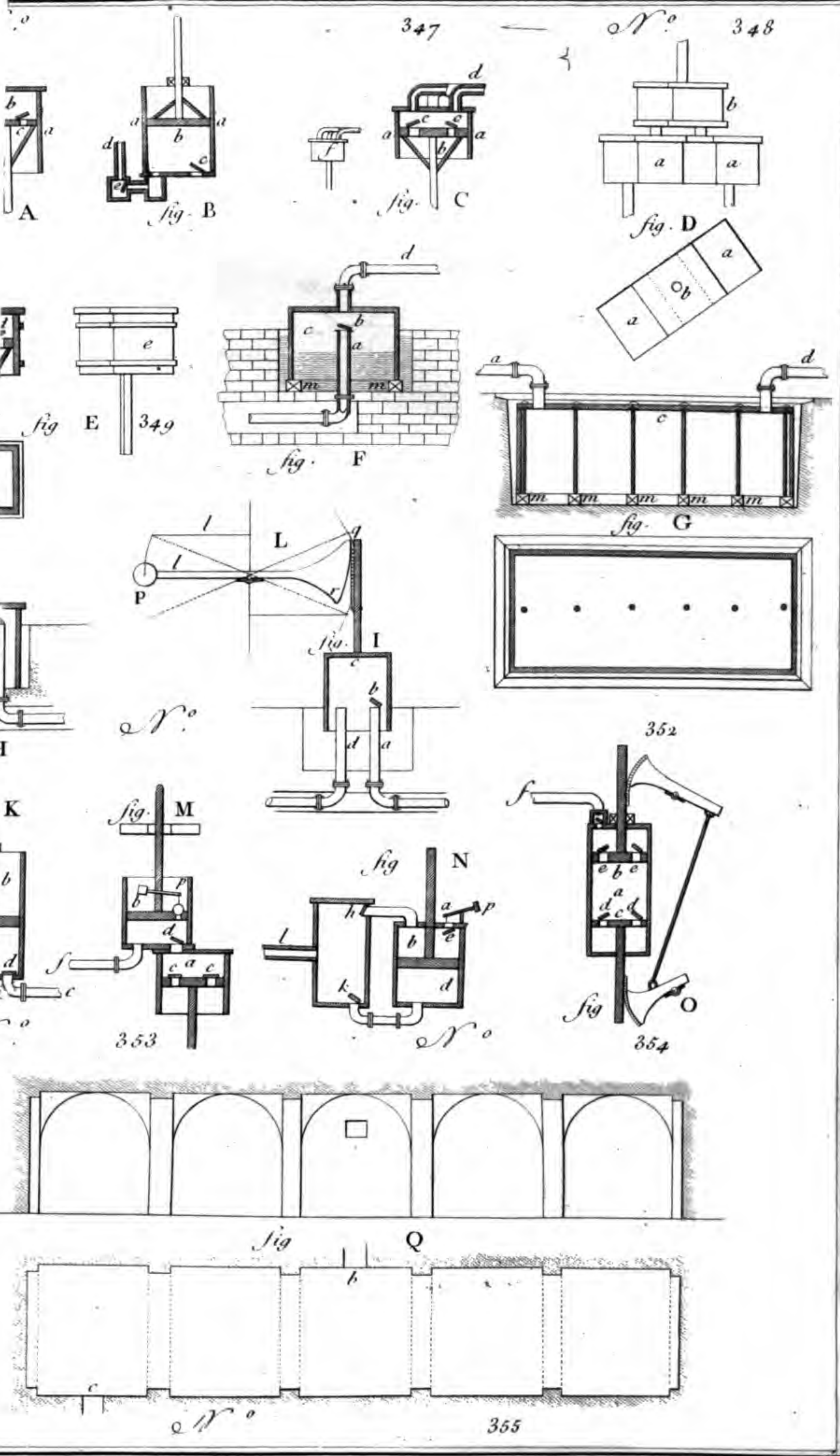

347
N° 348
fig. A
fig. B
fig. C
fig. D


fig. E 349
fig. F
fig. G


L
P
fig. I
H


352
K
fig. M
fig N
fig O
353
354


fig Q
N° 355



347
N° 348
fig. A
fig. B
fig. C
fig. D
fig. E 349
fig. F
fig. G
L
P
fig. I
N°
H
352
K
fig. M
fig N
fig O
353
N°
354
fig Q
N°
355

N.° 360

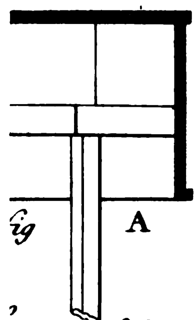


fig. A

N.° 359

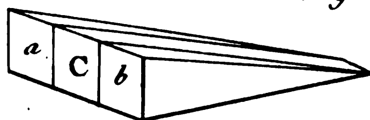


fig. B

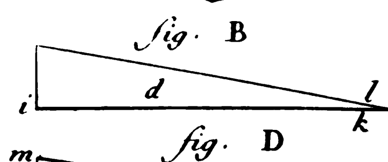
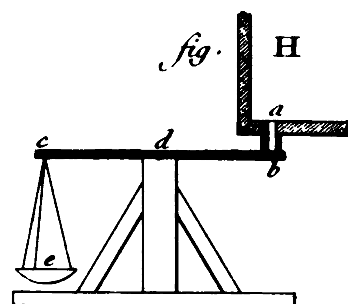


fig. D



N.° 361

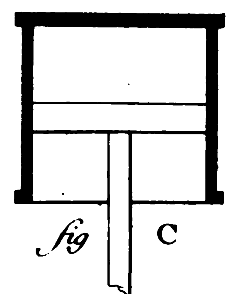


fig. C

362

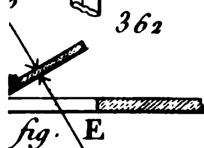


fig. E

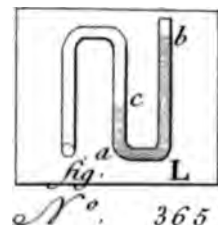


fig. L

N.° 365

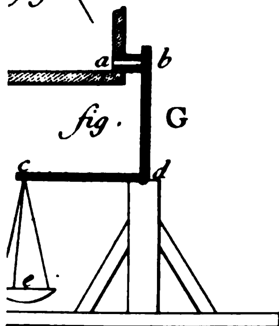


fig. G

fig. H

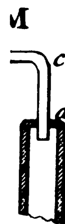
a
c
d
b
e



N.°

364

M



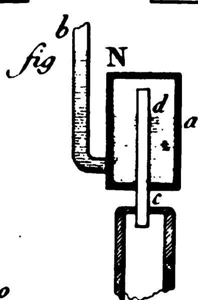


fig. N

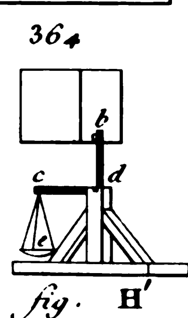


fig. H'



fig. K

N.° 367

N.° 365

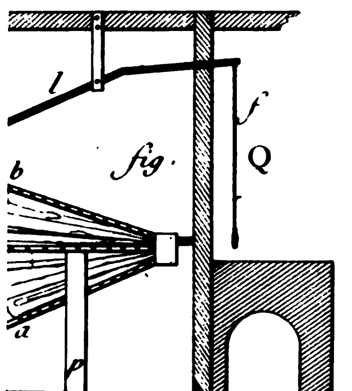


fig. Q

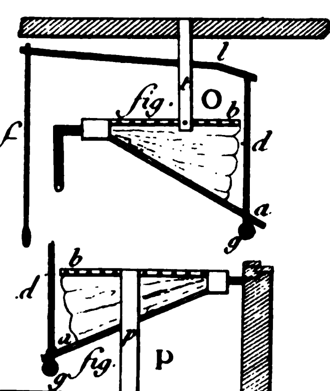


fig. O

fig. P

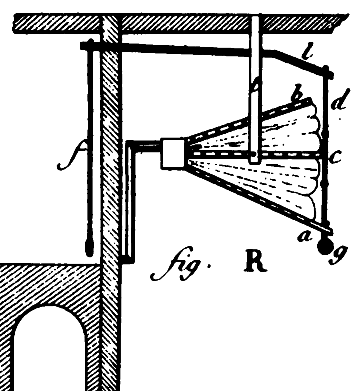


fig. R

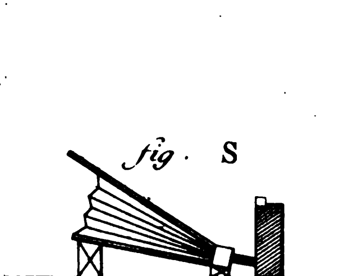


fig. S

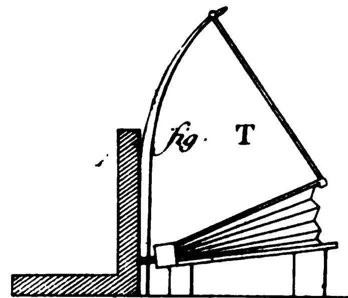


fig. T

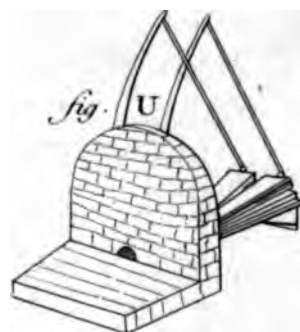
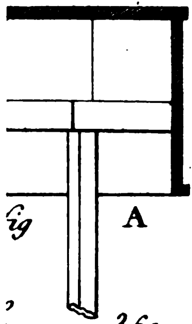


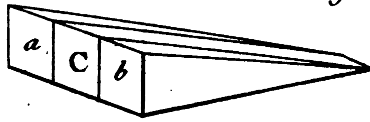
fig. U

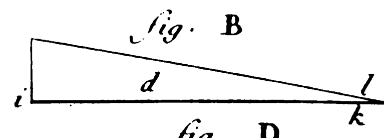
N.°

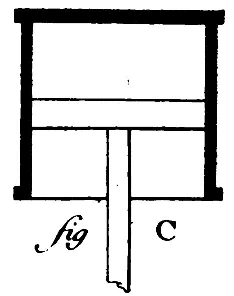
374

No. 360 No. 359 No. 361

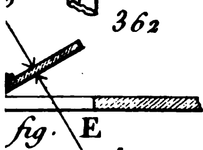


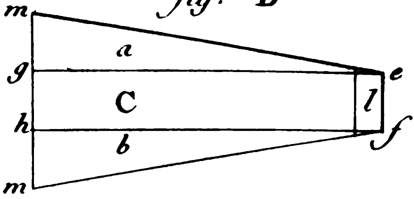


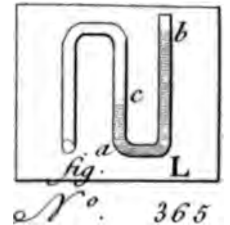




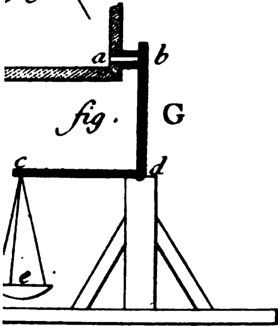
362

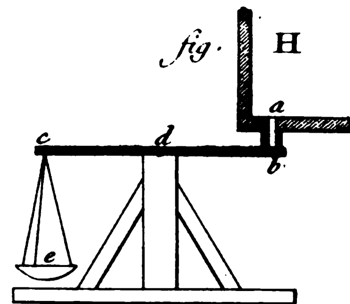




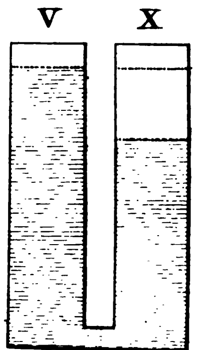


No. 365





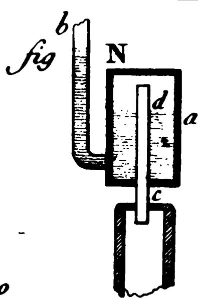


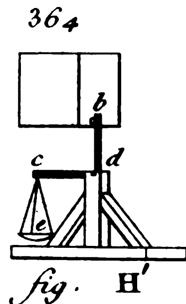


No. 367

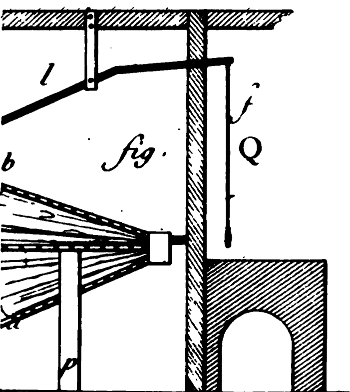
No. 364

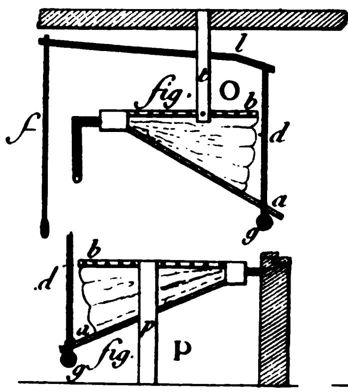


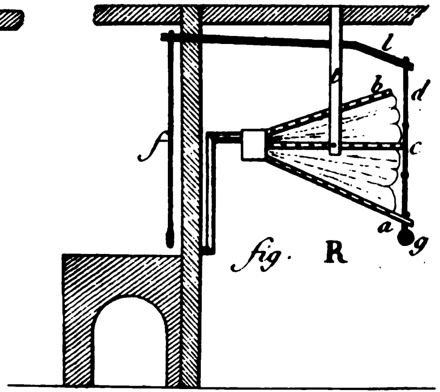


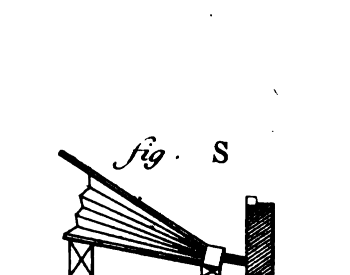


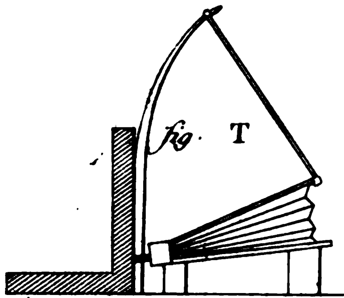
No. 365

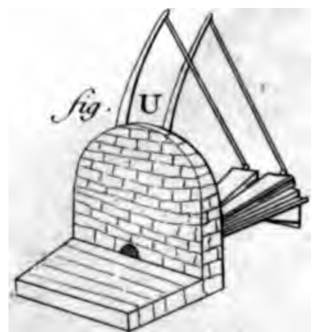












No. 374

N.o 381.

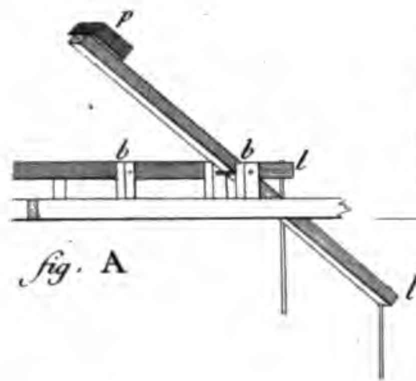


fig. A

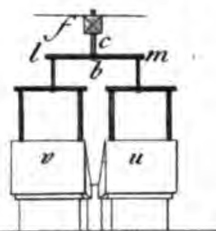


fig. B'

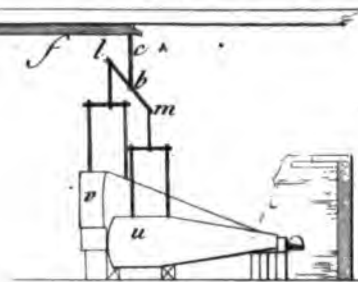


fig. B

N.o 382

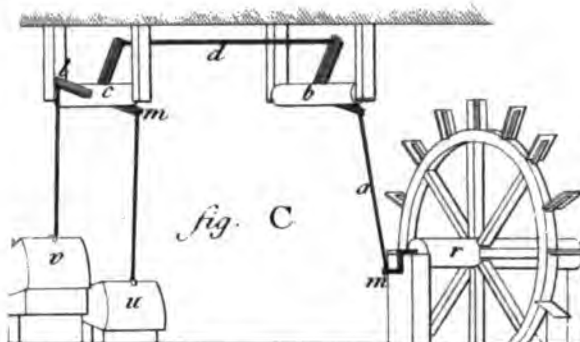


fig. C

N.o 383

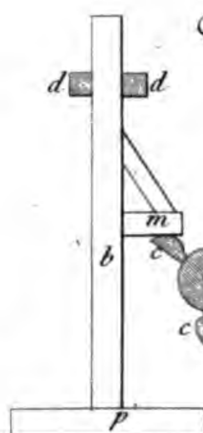


fig. D

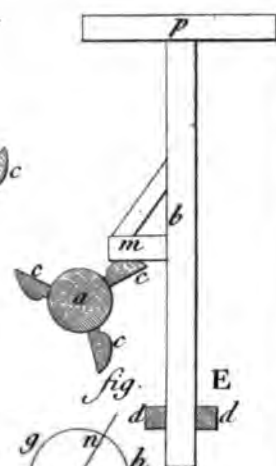


fig. E

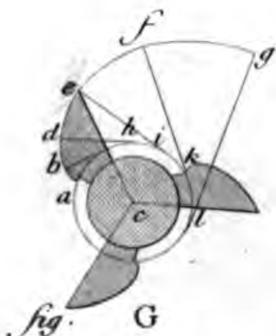


fig. G

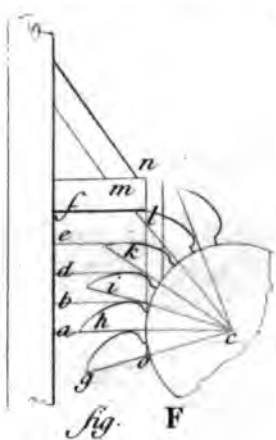


fig. F

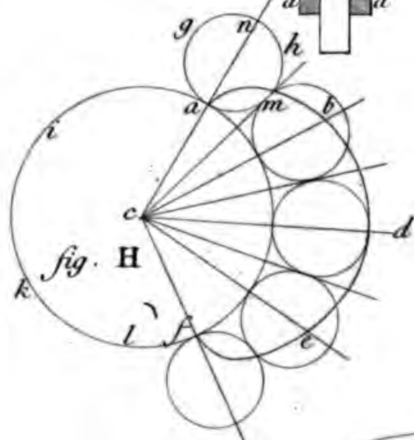


fig. H

N.o 384

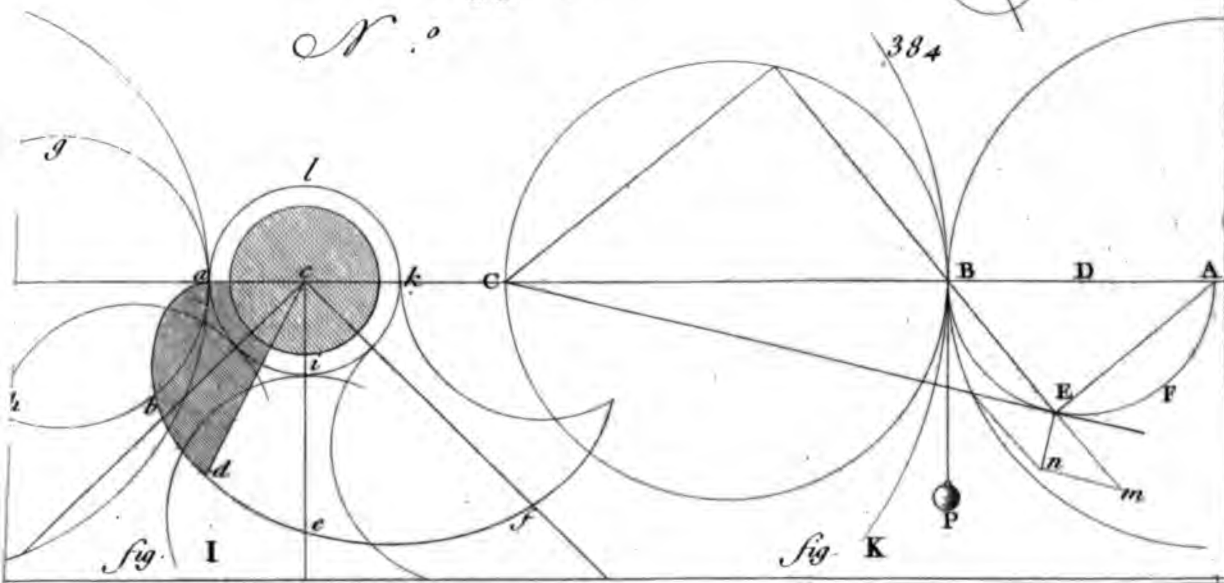
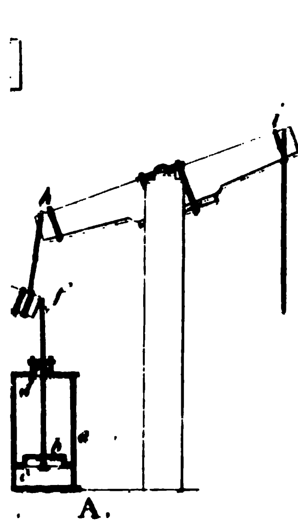


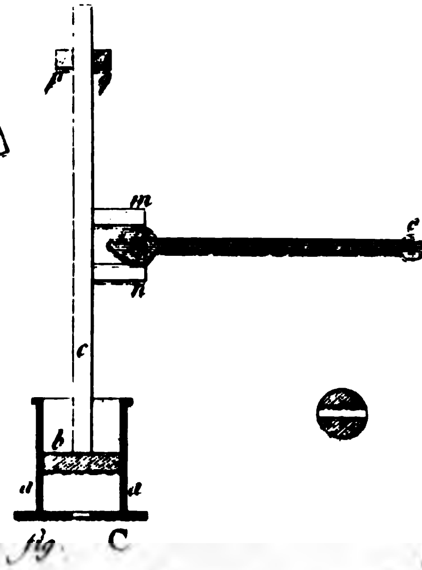
fig. I

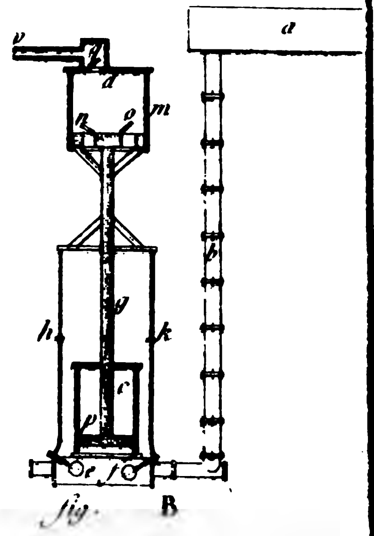
fig. K

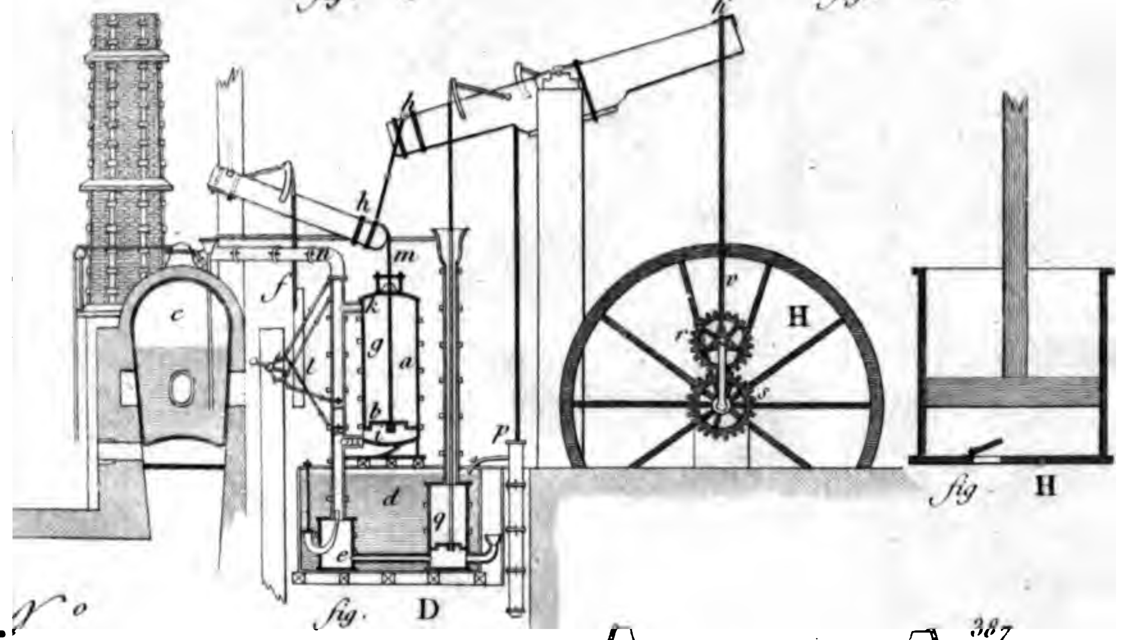
385

386

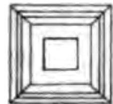

i
f
a
b
A.

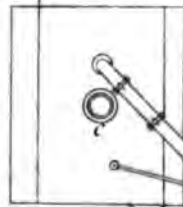

m
e
n
c
b
d
d
fig. C

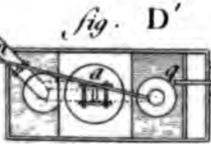

a
d
m
n
o
b
g
h
k
c
p
fig. B

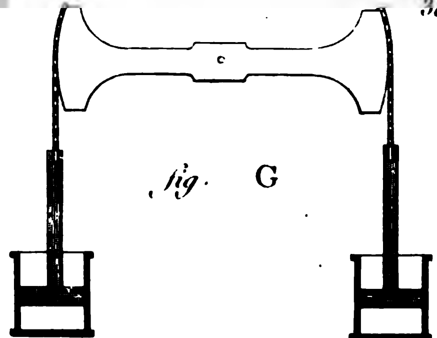

c
h
m
f
k
g
a
p
d
e
q
H
r
s
fig. D
fig. H

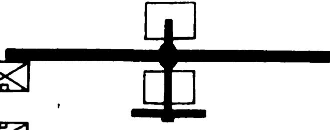
387

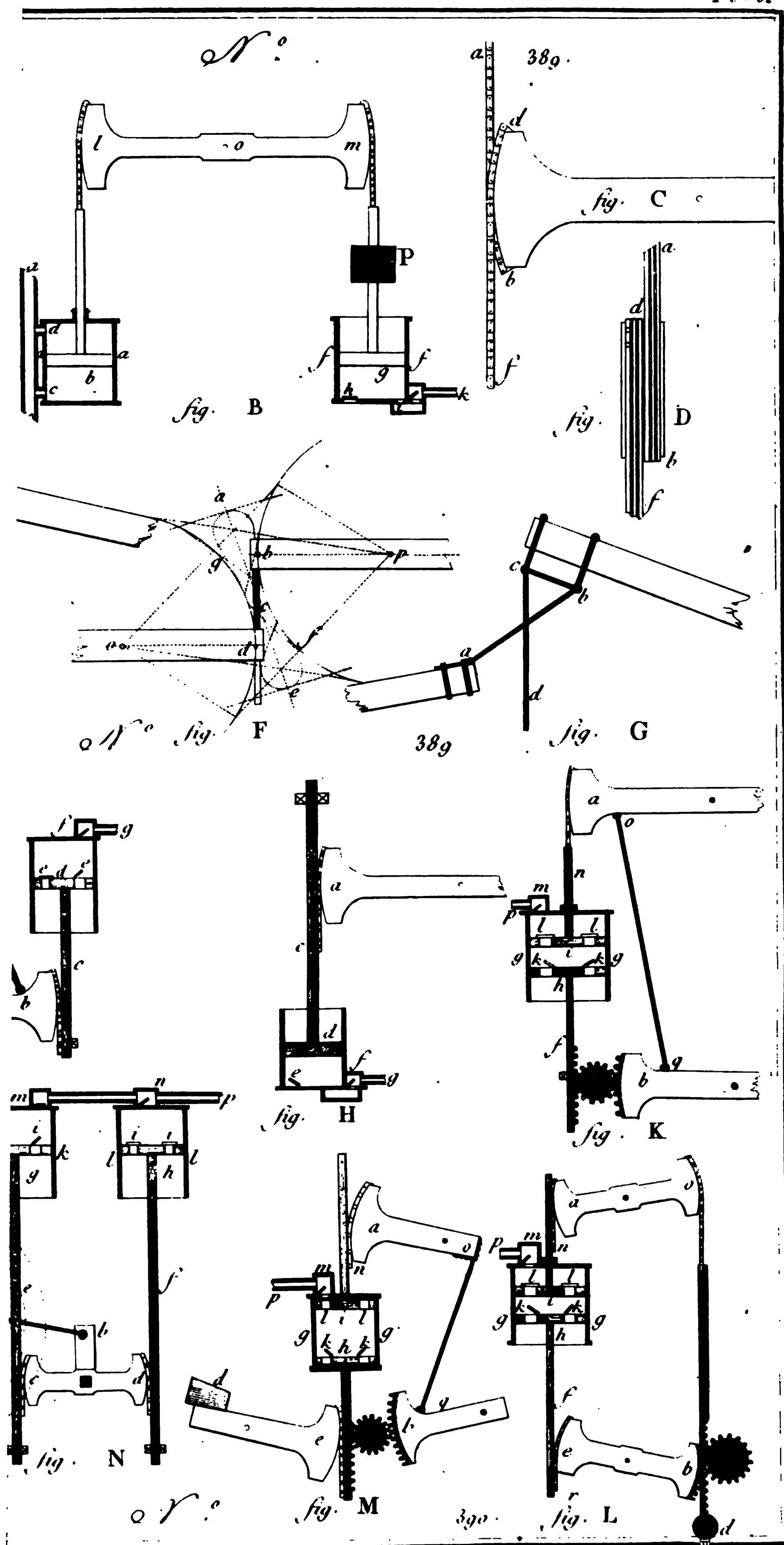


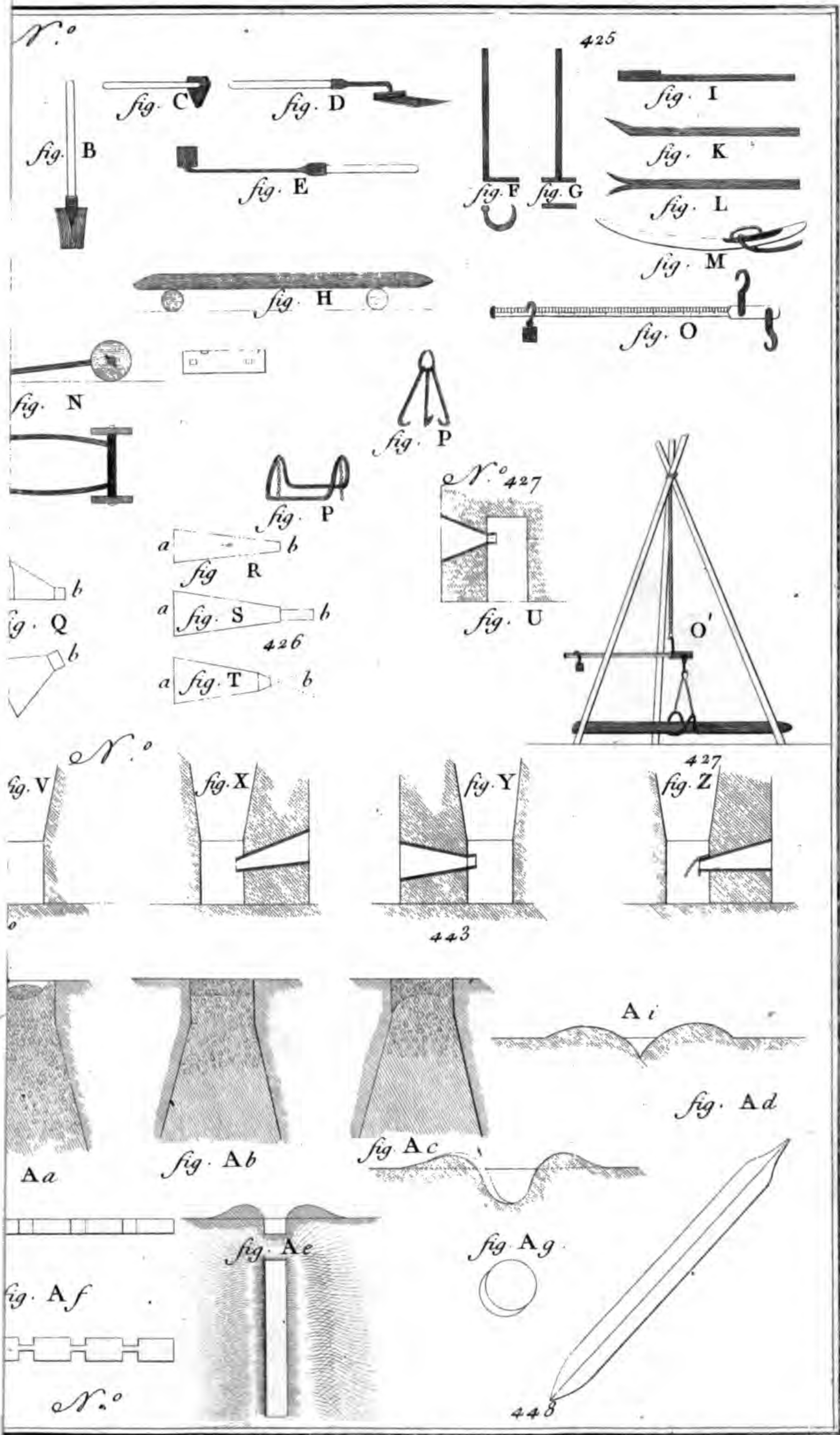


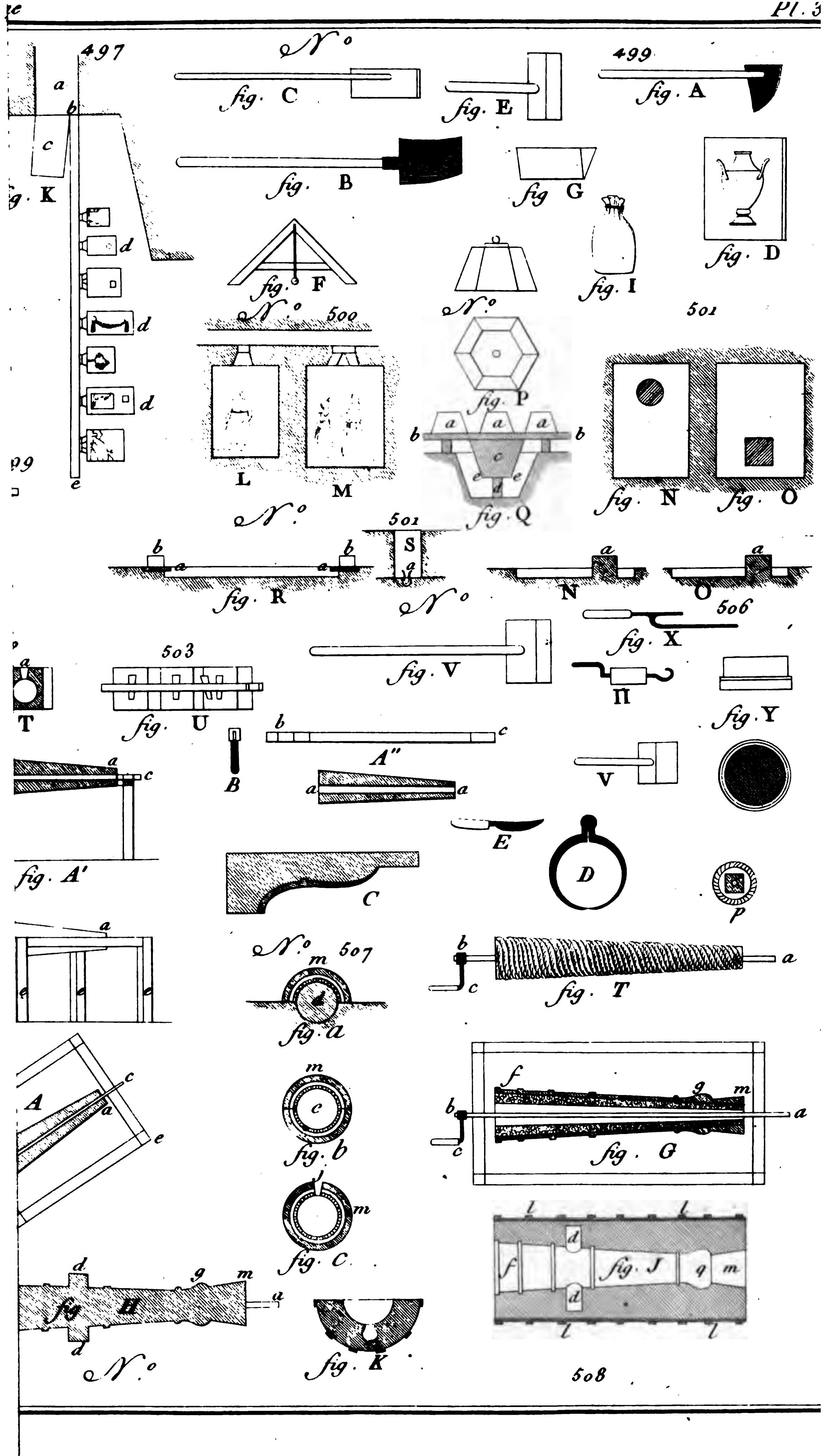

fig. D'
a
q
p


c
fig. G

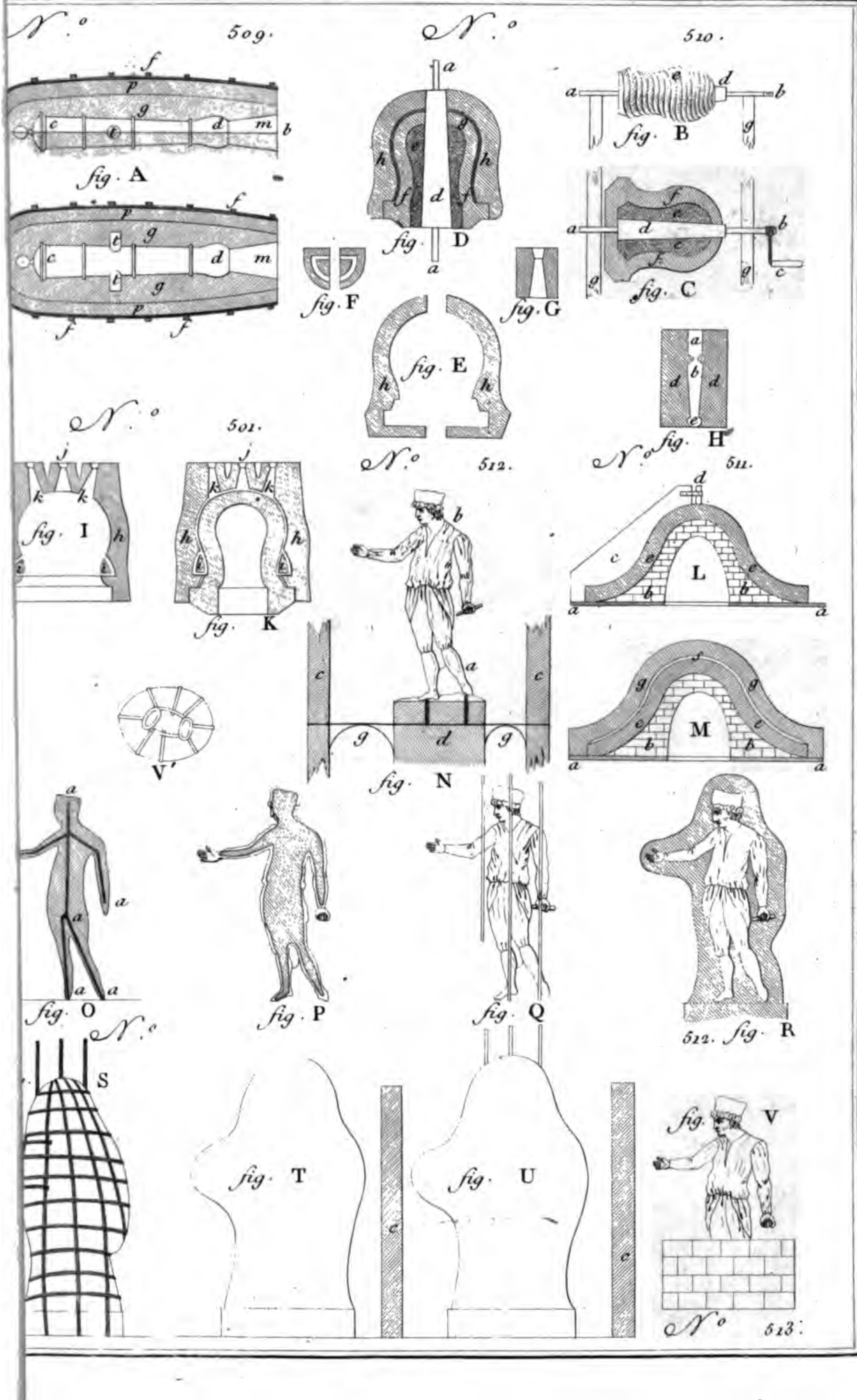


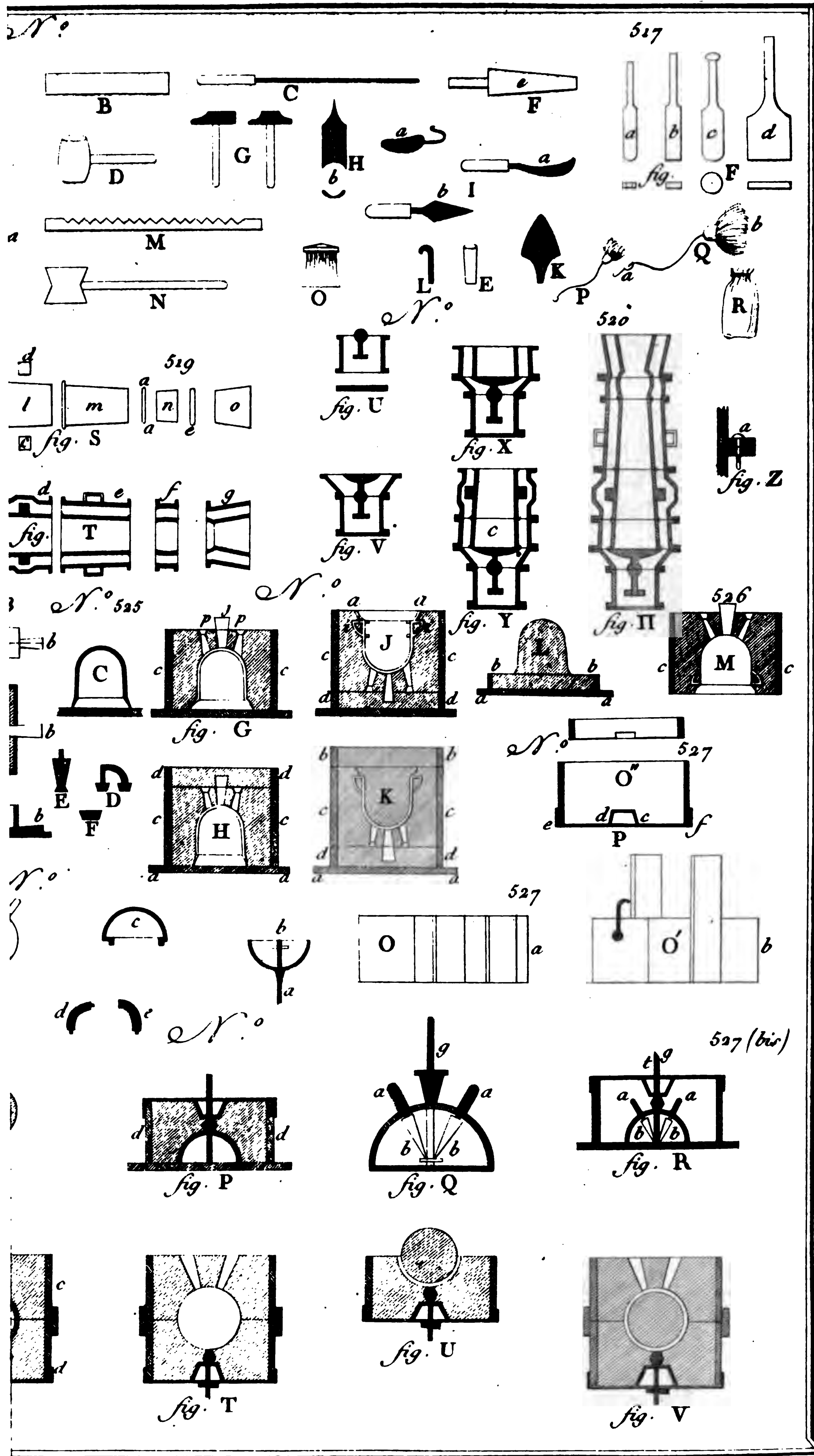

N°. 389.
fig. B
fig. C
fig. D
fig. F
389
fig. G
fig. H
fig. K
fig. N
fig. M
390.
fig. L

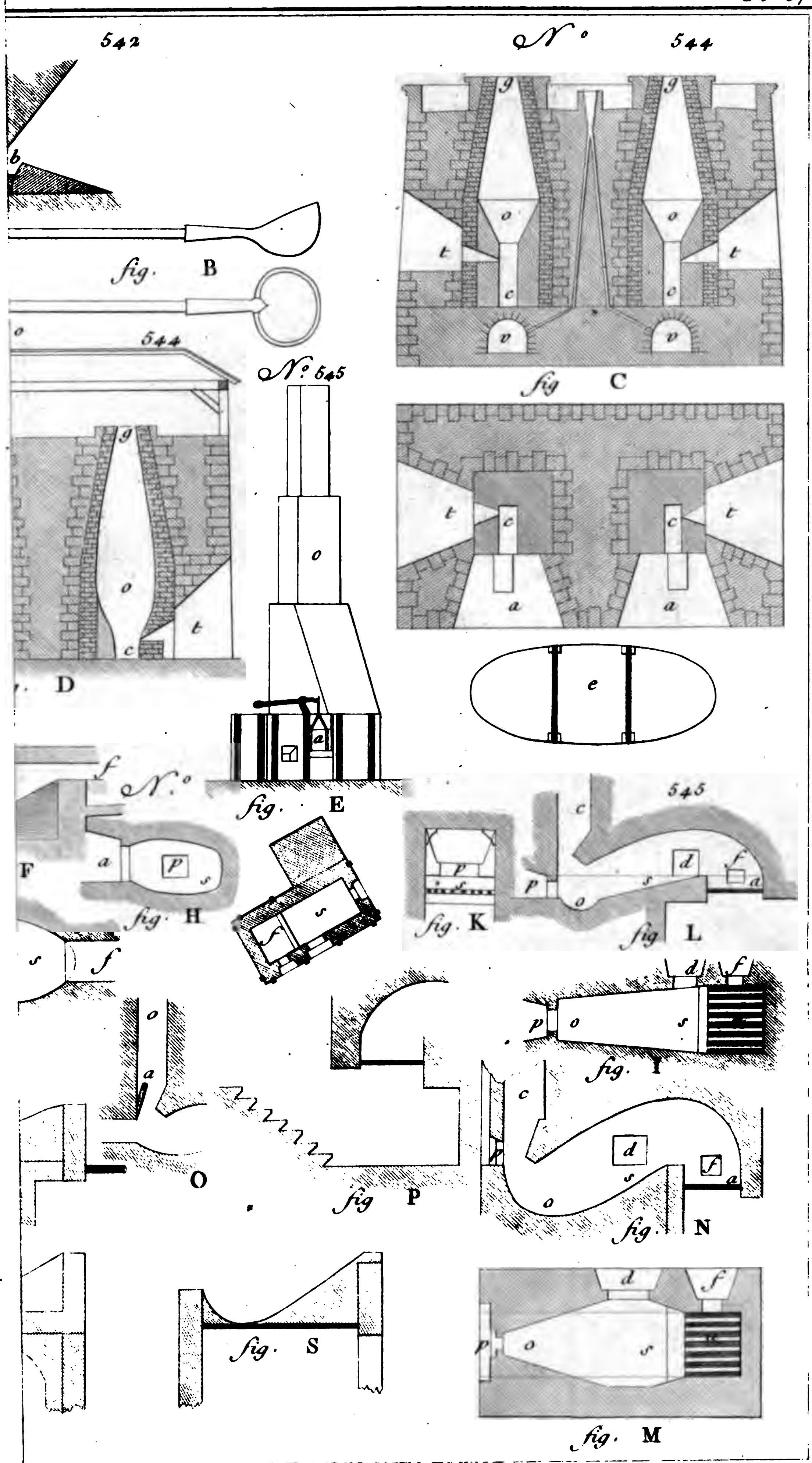

N.°
fig. B
fig. C
fig. D
fig. E
425
fig. F
fig. G
fig. I
fig. K
fig. L
fig. M
fig. H
fig. O
fig. N
fig. P
fig. P
N.° 427
a b
fig R
fig. U
b
fig. Q
a fig. S b
426
O'
b
a fig. T b
N.°
427
fig. V
fig. X
fig. Y
fig. Z
443
A i
fig. Ad
Aa
fig. Ab
fig. Ac
fig. Ae
fig. Ag
fig. Af
N.°
448

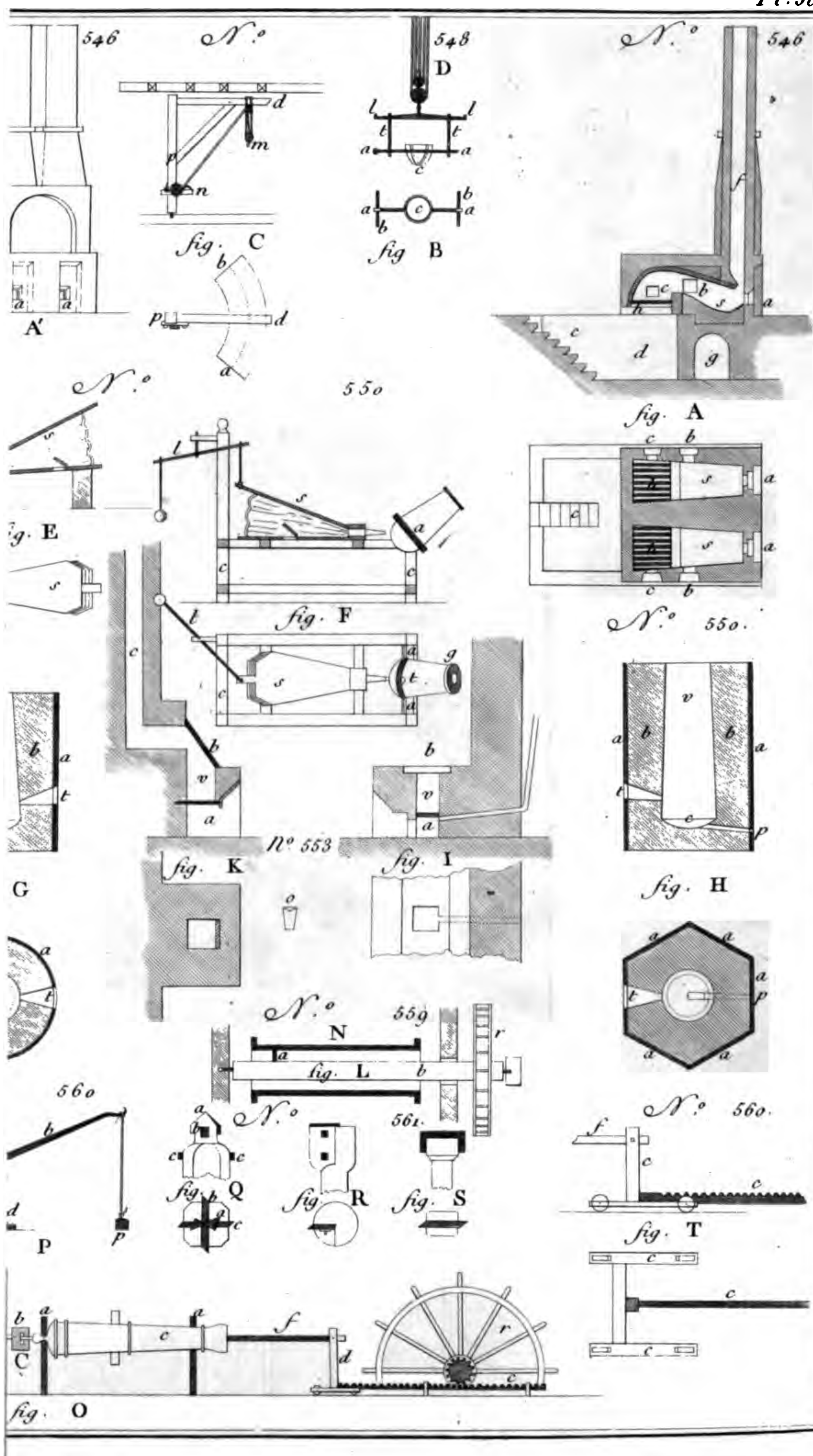


N° 497
fig. K
N° 499
fig. C
fig. E
fig. A
fig. B
fig. G
fig. D
fig. F
fig. I
N° 500
N° 501
L
M
fig. P
fig. Q
fig. N
fig. O
N° 502
fig. R
N° 506
fig. X
N° 503
fig. U
fig. V
fig. Y
A″
fig. A′
N° 507
fig. a
fig. T
fig. b
fig. G
fig. c
fig. J
fig. H
fig. K
N° 508


N.° 509.
N.° 510.
fig. A
fig. B
fig. C
fig. D
fig. E
fig. F
fig. G
fig. H
N.° 501.
fig. I
fig. K
N.° 512.
N.° 511.
L
M
V'
fig. N
fig. O
fig. P
fig. Q
512. fig. R
N.°
S
fig. T
fig. U
fig. V
N.° 513.


N°
517
B
C
F
G
H
I
D
M
N
O
L
E
K
P
Q
R
N°
520
519
fig. S
fig. U
fig. X
fig. Z
fig. T
fig. V
fig. Y
fig. Π
N° 525
N°
526
C
fig. G
J
L
M
E
D
F
H
K
N°
527
O''
P
527
O
O'
N°
527 (bis)
fig. P
fig. Q
fig. R
fig. T
fig. U
fig. V


542
N° 544
fig. B
544
fig C
N° 545
fig. D
fig. E
N°
545
F
fig. H
fig. K
fig. L
fig. I
O
fig P
fig. N
fig. S
fig. M


N.° 546
N.° 548
N.° 546
fig. C
fig B
fig. A
A'
N.° 550
fig. E
fig. F
N.° 550.
N.° 553
fig. K
fig. I
fig. H
G
N.° 559
fig. L
N
N.° 560
N.° 561.
N.° 560.
fig. Q
fig. R
fig. S
fig. T
P
fig. O


Stanford University Libraries
3 6105 010 926 520

4 vols.


Stanford University Libraries
3 6105 010 926 520

